

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Puunjalostustekniikan osasto

Paperitekniikan laboratorio

Terhi Lindholm

VEDENPOISTOMENETELMIEN VERTAILU  
LABORATORIOMITTAKAAVASSA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 28.3.2001.

Työn valvoja: Prof. Hannu Paulapuro

Työn ohjaaja: DI Jonni Ahlgren



Tekijä	Päiväys
Terhi Lindholm	28.03.2001
	Sivumäärä
	114
Työn nimi	
Vedenpoistomenetelmien vertailu laboratoriomittakaavassa	
Professuuri	Koodi
Paperitekniikka	Puu-21
Työn valvoja	
Professori Hannu Paulapuro	
Työn ohjaaja	
DI Jonni Ahlgren	
<p>Työn tavoitteena oli vertailla vedenpoiston laboratoriomittausmenetelmiä toisiinsa, ja selvittää, saadaanko jollakin yksinkertaisella mittausmenetelmällä vertailukelpoisia tuloksia Teknillisessä korkeakoulussa rakennetun laboratoriomittaisen suotautumistesterin (MBDT) kanssa. Tarkastelu tehtiin vertaamalla MBDT:llä saatuja vedenpoiston lukuarvoja kolmella muulla laitteella saatuihin arvoihin.</p> <p>Kirjallisuudessa perehdyttiin retentio- ja vedenpoistomekanismeihin, vedenpoiston vaiheisiin paperikoneella, vedenpoistoon vaikuttaviin tekijöihin ja laboratoriolaitteisiin, joita on kehitetty retention ja vedenpoiston tutkimiseksi.</p> <p>Kokeellisessa osassa käytettävänä laitteina olivat MBDT:n lisäksi DDA, sentrifuugi ja SR-laite, johon oli yhdistetty vaaka ja tietokone suodoksen kertymisen seuraamiseksi. Kokeet tehtiin kahta tyyppillistä paperikonemassaa (SC ja hienopaperi) ja kahta eri tasolle jauhettua sellua ja hioketta käyttäen retentioaineiden annostelutasoja muuttamalla. MBDT:n tuloksista vertailussa käytettiin pääasiassa arkin kuiva-ainepitoisuutta, DDA:lla suotautumisaikaa ja arkin kuiva-ainepitoisuutta ja sentrifugoinnissa kuiva-ainepitoisuutta. SR-testissä tuloksena saatiin kuvaaja suodoksen kertymisestä ajan funktiona, jolta käytettiin aikavälillä 5-15 s poistunutta vesimäärää vertailuissa.</p> <p>Tulokset menetelmien vertailtavuudesta olivat melko hyviä. Paras korrelaatio saatiin verrattaessa MBDT:n tuloksia DDA:n tuloksiin arkien kuiva-ainepitoisuuksia käyttäen. MBDT:n ja DDA:n korrelaatio oli siinä tapauksessa melko hyvä kaikilla massoilla. MBDT:n initiaalivaiheen ja DDA:n välille saatiin odotetusti hyvä korrelaatio. MBDT:n ja SR-testin välinen korrelaatio oli kohtuullinen. Sentrifugoinnin ja MBDT:n välinen korrelaatio oli heikoin kolmesta vertailtavasta menetelmästä, kuitenkin mekaanisilla massoilla saatiin hyvä korrelaatio menetelmien välille, kun tulokset jaettiin neliömassalla. Täyteaineellisilla massoilla (SC- ja hienopaperi) saatiin kaikilla menetelmillä hyviä tuloksia. Niillä MBDT:n tulosten vertailukelpoisuus on melko hyvällä tasolla verrattaessa DDA:iin, SR-kokeeseen ja sentrifugointiinkin.</p> <p>Kokeiden perustella havaittiin, että suotautumisajat korreloivat hyvin keskenään ja kuiva-ainepitoisuudet keskenään, riippumatta niinkään mittausmenetelmästä. Parhaat korrelaatiot saatiin, kun verrattiin eri menetelmistä samoja tarkasteluparametreja toisiinsa. DDA:n ja SR-kokeen välille saatiin hyvä korrelaatio suotautumisajoja käyttämällä, ja MBDT:n ja DDA:n sekä jossain määrin myös sentrifugoinninkin välille saatiin hyvä korrelaatio kuiva-ainepitoisuuksia käyttäen. DDA:n suotautumisajan ja kuiva-ainepitoisuuden välinen heikko korrelaatio tukee sitä, että eri tarkasteluparametrit kuvaavat vedenpoistoa eri tavoin.</p>	
Avainsanat	Kieli
Vedenpoisto, retentio, laboratoriolaitte, vertailu	Suomi



Author	Date
Terhi Lindholm	28.03.2001
	Pages
	114
Title of Thesis	
Comparing laboratory drainage testers	
Chair	Chair Code
Paper Technology	Puu-21
Supervisor	
Prof. Hannu Paulapuro	
Instructor	
M. Sc. Jonni Ahlgren	
<p>The objective of this work was to compare laboratory drainage testers and to examine, if a simple laboratory drainage test would give comparable results with a laboratory drainage tester (MBDT) built at Helsinki University of Technology. The tests were carried out by comparing drainage data from the MBDT to data from three other laboratory tests or testers.</p> <p>In the literature survey, the mechanisms of retention and drainage, drainage on the paper machine and factors influencing drainage and dewatering were described. Different types of testers made for the investigation of retention and drainage were examined.</p> <p>The devices used in the experimental part were the MBDT, the DDA, a test using the centrifuge and the SR-test, to which a scale and computer were added to follow the accumulation of filtrate. Two typical paper machine pulps (SC and fine paper), two differently refined chemical and mechanical pulps were used. The tests were done by changing the amounts and types of retention aids for different pulps. From MBDT results, the primary parameter used in the comparisons was the consistency of the wet web. For the DDA the drainage time and the wet web consistency were used and for the centrifuge method wet web consistency was used. In the SR-test, the result was given as a curve of the accumulation of filtrate as a function of time, from which the amount of filtrate accumulated between 5 and 15 s was used in the comparisons.</p> <p>The correlations obtained were quite good. The best correlation was achieved when comparing the consistencies of the wet web from the MBDT test and the DDA test, the correlation being at a good level. Comparing the initial dewatering stage of the MBDT with the DDA resulted, as expected, in a good correlation. The correlation between the MBDT and SR tests was reasonable. The correlation between MBDT and the centrifuge test was the poorest of the three tested methods, although with mechanical pulps a good correlation between the two methods was achieved. With the filler-containing pulps (SC and fine paper) good correlations with all test methods were obtained, the correlations between the MBDT compared to the DDA, the SR-test and even the centrifuge test were quite good.</p> <p>Based on the experiments, it was concluded that drainage times correlated well with each other and wet web consistencies with each other, not depending so much on the test method used. The best correlations were obtained when comparing the same parameters from different methods. The correlation between the SR and DDA tests was good when comparing drainage times. The correlation when comparing the MBDT to the DDA and even to the centrifuge test was quite good. The poor correlation between drainage time and wet web consistency from the DDA supports these findings.</p>	
Keywords	Language
Drainage, dewatering, retention, laboratory test, comparison	Finnish

## ALKULAUSE

Tämä työ on tehty Kemira Chemicals Oy :lle Teknillisen korkeakoulun paperitekniikan laboratoriossa. Esitän kiitokseni Hannu Paulapurolle ja Jonni Ahlgrenille saamistani ohjeista ja neuvoista. Kiitos myös Jouni Paltakarille avusta ja kaikille muille, jotka ovat auttaneet minua työn eri vaiheissa.

Kiitokset kaikille ystäville ja opiskelukavereille hyvästä seurasta ja hauskaista opiskeluaajasta.

Lisäksi kiitokset vanhemmilleni, jotka ovat auttaneet monin tavoin läpi opiskelujeni. Myös Roope ansaitsee kiitoksen kärsivällisyydestä ja Marian hoitamisesta tämän työn aikana. Erityismaininnan arvoinen on Maria, joka on iloisuudellaan piristänyt jokaista päivää !

Espoossa, 28.03.2001



Terhi Lindholm

## LYHENTEET

MBDT = Moving Belt Drainage Tester

MBF = Moving Belt Former

MBDF = Moving Belt Drainage Former

CSF = Canadian Standard Freeness

SR = Schopper-Rieglerin laite

MSR = Modified Schopper-Riegler

DDJ = Dynamic Drainage Jar

WRA = Water Release Analyzer

RDT = Retention and Drainage Tester

DDT = Dynamic Drainage Tester

RPA = Retention Process Analyser

DVRT = Drainage, Vacuum and Retention Tester

DDA = Dynamic Drainage Analyser

WRV = Water Retention Value

CCV = Centrifugal Compression Value

MWRV = Modified Water Retention Value

TPSF = Turbulent Pulse Sheet Former

PDD = Pulse Drainage Device

HSRT = High Speed Retention Tester

PAM = polyakryyliamidi

APAM = anioninen polyakryyliamidi

CPAM = kationinen polyakryyliamidi

PEI = polyetyleeni-imiini

PEO = polyeteenioksidi

nm = neliömassa

kap = kuiva-ainepitoisuus

lv = luottamusväli

ka = keskiarvo

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
1.1	TAUSTAA	1
1.2	TAVOITE	2
<b>KIRJALLISUUSOSA</b>		
<b>2</b>	<b>VEDENPOISTO</b>	<b>3</b>
2.1	VEDENPOISTO PAPERIKONEELLA	5
2.1.1	<i>Vedenpoisto viiraosalla</i>	5
2.1.2	<i>Vedenpoisto puristin- ja kuivatusosalla</i>	6
2.2	VEDENPOISTON MEKANISMIT	6
<b>3</b>	<b>RETENTIO</b>	<b>8</b>
3.1	VIIRARETENTIO	8
3.2	RETENTIOMEKANISMIT	10
3.2.1	<i>Varausten neutralointi</i>	10
3.2.2	<i>Mosaiikinmuodostus</i>	10
3.2.3	<i>Sillanmuodostus</i>	10
<b>4</b>	<b>VEDENPOISTOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT</b>	<b>11</b>
4.1	MASSAN OMINAISUUDET	12
4.2	RETENTIO- JA VEDENPOISTOKEMIKAALIT	13
4.2.1	<i>Polyakryyliamidit</i>	15
4.2.2	<i>Aluna</i>	16
4.2.3	<i>Tärkkelys</i>	16
4.2.4	<i>Polyeteenioksidi</i>	17
4.2.5	<i>Kondensaatiopolymeerit</i>	17
4.2.6	<i>Kaksikomponenttisyteemit</i>	18
4.2.7	<i>Mikropartikkelisyteemit</i>	18
4.3	VIIRA	19
4.4	VAKUUMI JA PULSEERAUS	21
<b>5</b>	<b>RETENTION JA VEDENPOISTON MITTAAMINEN LABORATORIOSSA</b>	<b>23</b>
5.1	PAINOVOIMAVAIKUTTEISET LAITTEET	25
5.1.1	<i>Freeness-testit</i>	25
5.1.2	<i>Sampsonin ja Krophollerin modifioitu SR-testi</i>	27
5.1.3	<i>Modified Schopper-Riegler (MSR)</i>	28
5.1.4	<i>Suotautumisaika</i>	29
5.1.5	<i>Vakionopeus- ja vakiopainemittalaitteet</i>	29
5.1.6	<i>Dynamic Drainage Jar (DDJ)</i>	31
5.1.7	<i>Retention Process Analyser (RPA)</i>	32
5.2	VAKUUMIVAIKUTTEISET LAITTEET	33
5.2.1	<i>Suotautumisnopeuden mittaaminen ultraäänen ja laserin avulla</i>	33
5.2.2	<i>Water Release Analyzer (WRA)</i>	34
5.2.3	<i>Modified Dynamic Drainage Jar</i>	36
5.2.4	<i>Retention and Drainage Tester (RDT)</i>	37
5.2.5	<i>G/W Drainage Analysis System</i>	38
5.2.6	<i>Drainage, Vacuum and Retention Tester (DVRT)</i>	39
5.2.7	<i>Dynamic Drainage Analyser (DDA)</i>	41
5.3	SENTRIFUGOINTIMENETELMÄT	43



5.3.1	Water Retention Value (WRV).....	43
5.3.2	Centrifugal Compression Value (CCV).....	44
5.3.3	Modified Water Retention Value (MWRV).....	45
5.4	PULSEERAAVAT LAITTEET .....	46
5.4.1	Pulse Drainage Apparatus.....	46
5.4.2	Dynamic Drainage Tester (DDT).....	47
5.4.3	Dynamic Drainage Simulator .....	48
5.4.4	Turbulent Pulse Sheet Former (TPSF).....	49
5.4.5	Pulsed Drainage Device (PDD).....	50
5.5	VOIMAKKAITA PULSSEJA AIKAANSAAVAT LAITTEET.....	52
5.5.1	MBDT ja sen uudemmat versiot MBDF ja MBF.....	52
5.5.2	Twin-wire Handsheet Former .....	55
5.5.3	High Speed Retention Tester (HSRT).....	57
6	LABORATORIOMENETELMIEN VERTAILU KIRJALLISUUDESSA .....	58
7	VEDENPOISTON ON-LINE MITTAAMINEN PAPERIKONEELLA.....	59
7.1	ULTRAAÄNIMITTAUS.....	59
7.2	BACKSCATTER GAMMA GAUGE.....	60
7.3	ON-LINE DRAINAGE ANALYSER.....	61
7.4	JATKUVATOIMINEN FREENESS-MITTAUS .....	61
8	KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO.....	62
<b>KOKEELLINEN OSA</b>		
9	KOKEELLISEN OSAN TAVOITE.....	66
10	KOESUUNNITELMA .....	66
10.1	LAITTEET.....	66
10.1.1	MBDT.....	67
10.1.2	DDA.....	67
10.1.3	Modifioitu SR-testi.....	68
10.1.4	Sentrifugointi.....	68
10.2	MASSAT.....	69
10.3	RETENTIOAINEET .....	71
10.4	TEHDYT MÄÄRITYKSET .....	72
11	TULOSTEN TARKASTELU .....	73
11.1	MUUTTUIJEN VAIKUTUS TULOKSIIN.....	73
11.1.1	Laitteet.....	73
11.1.2	Massat .....	74
11.1.3	Retentioaineet.....	75
11.2	VERTAILUPARAMETRIEN VALINTA .....	77
11.3	MBDT VERRATTUNA DDA:IIN.....	78
11.3.1	Kap (MBDT) vrt. suotautumisaika (DDA) neliömassoilla jaettuina.....	79
11.3.2	Kuiva-ainepitoisuus (MBDT) vrt. suotautumisaika (DDA).....	81
11.3.3	Vertailuparametreina kuiva-ainepitoisuudet (MBDT ja DDA) .....	84
11.3.4	MBDT:n initiaalivehitys verrattuna DDA:iin.....	88
11.4	MBDT VERRATTUNA SR-MENETELMÄÄN.....	89
11.5	MBDT VERRATTUNA SENTRIFUGOINTIIN.....	93
11.6	DDA-, SR- JA SENTRIFUGOINTIMENETELMIEN VERTAILU KESKENÄÄN .....	98
12	TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI.....	103
13	KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	105

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Taustaa

Paperikoneen märkäosan vedenpoiston merkitys paperikoneen tuotantonopeudelle ja energiataloudelle on keskeinen. Massan vedenpoisto-ominaisuudet vaikuttavat paperikoneen ajonopeuteen, höyryn kulutukseen, paperirainan muodostukseen ja lopullisen tuotteen laatuun. Vedenpoisto paperikoneella on erittäin monimutkainen tapahtuma. Vedenpoistoon paperikoneella vaikuttaa massan ominaisuuksien lisäksi lukuisia erilaisia muuttujia, kuten paperikoneen ajonopeus, massaan kohdistuvat leikkausvoimat, turbulenssi ja vakuumi.

Viiraosan vedenpoistoa voidaan tutkia koeajoilla tuotantopaperikoneella ja koepaperikoneella, tarkoitukseen suunniteltujen erilaisten laboratoriolaitteiden tai matemaattisten mallien avulla. Paperikonekoeajot ovat huomattavan kalliita ja hankalia toteuttaa. Matemaattisten mallien ongelmana on niissä tehty yksinkertaistukset, jolloin tuloksia on vaikea soveltaa käytännön olosuhteisiin. Paperikoneen vedenpoistokyvyn tarkasteleminen laboratoriossa on hankalaa tapahtuman monimutkaisuuden vuoksi. Ongelmana on ollut, että laboratoriokokeet eivät ole pystyneet ennustamaan luotettavasti massan käyttäytymistä paperikoneella. Perinteisissä mittausmenetelmissä vedenpoisto tapahtuu painovoiman vaikutuksesta, eivätkä menetelmät ota huomioon massaan kohdistuvia leikkausvoimia, voimakasta turbulenssia ja vakuumia. Perinteiset menetelmät eivät pysty simuloimaan mekanismeja, jotka kontrolloivat vedenpoistoa paperikoneella. Paperikoneen viiraosan olosuhteita hyvin simuloivan laboratoriolaitteen avulla saataisiin hyödyllistä tietoa, jota voitaisiin käyttää paperikoneen viiraosan suunnittelussa sekä vedenpoiston, retention ja rainan ominaisuuksien parantamisessa.

Vedenpoiston tutkimiseksi laboratoriossa on kehitetty monia erilaisia laitteita ja menetelmiä. Eräs vedenpoiston tarkastelemiseksi kehitetty laite on MBF/MBDT (Moving Belt Former/Moving Belt Drainage Tester). Laitteella saadaan aikaan nopeita, laajalla alueella säädettävissä olevia imupulsseja, ja suotautuminen tapahtuu

turbulenteissa olosuhteissa. Laite kehitettiin, jotta pystyttäisiin aikaisempia koelaitteita paremmin jäljittelemään tasoviirakoneen viiraosan olosuhteita.

## **1.2 Tavoite**

Kirjallisuusosassa perehdytään laitteisiin, joilla vedenpoistoa ja retentiota on tutkittu laboratoriossa. Lisäksi tehdään katsaus vedenpoisto- ja retentiomekanismeihin, vedenpoistoon vaikuttaviin tekijöihin sekä retentio- ja vedenpoistokemikaaleihin.

Työn tarkoituksena on vertailla eri laboratoriomenetelmiä toisiinsa. Tavoitteena on löytää MBDT-menetelmälle vertailukelpoinen mittausmenetelmä, jonka voi toteuttaa yksinkertaisella yleisesti paperitehtailta löytyvällä laboratoriolaitteistolla. Laitteistona voidaan käyttää standardimenetelmien (esimerkiksi Schopper-Riegler- tai Canadian Standard Freeness) laitteistoista modifioituja versioita, sentrifugia tai muuta sopivaa yksinkertaista menetelmää. Kirjallisuuskatsauksen perusteella valitaan muutama yksinkertainen menetelmä, joilla saatuja tuloksia verrataan MBDT:n antamiin tuloksiin ja selvitetään, onko menetelmien välillä korrelaatiota.



# KIRJALLISUUSOSA

## 2 VEDENPOISTO

Vedenpoiston kuitujen ja muiden materiaalien sisältämästä sulpusta voidaan sanoa olevan paperinvalmistusprosessin ydin. Vedenpoiston nopeus ja tehokkuus ovat koko prosessin kannalta kriittisiä tekijöitä.

Perälaatikosta viiralle tuleva laimea kuitususpensio suotautetaan viiraosalla. Suotautuksella tarkoitetaan kuitufaasin erottamista vesifaasista mekaanisesti /1/. Kuitu- ja hienoainesuspension suotautuessa viiralle kiintoainehiukkaset asettuvat ensin viiralle ja sen jälkeen suotautumisen edetessä kiintoainetta kerrostuu muodostuneen ainekerroksen päälle. Suotautuneen ainekerroksen tullessa paksummaksi sen suotautumisvastus kasvaa ja suotautumisnopeus tietyn paine-eron vallitessa pienenee. Darcyn yhtälö /1/ pyrkii kuvaamaan suotautumista

$$\frac{dV}{dt} = Q = \frac{A\Delta p}{(nRW / A)} \quad (1)$$

Missä  $dV/dt = Q$  = nesteen tilavuusvirta suotautuneen kuitumaton läpi ( $\text{cm}^3$ )

$A$  = kuitumaton pinta-ala ( $\text{cm}^2$ )

$\Delta p$  = kuitumaton yli vallitseva paine-ero (Pa)

$n$  = nesteen viskositeetti (g/cms)

$R$  = suotautuneen kerroksen keskimääräinen ominaissuotautumisvastus ( $\text{cm/g}$ )

$W$  = hetkeen  $t$  mennessä muodostuneen ainekerroksen paino (g)

Yhtälössä on oletettu, että viirakudoksen aiheuttama suotautumisvastus on pieni kuitukerroksen vastukseen verrattuna /2/. Aluksi sulppu suotautuu nopeasti viiralle, mutta suotautuminen hidastuu kuitukerroksen ja sen myötä suotautumisvastuksen kasvaessa. Lämpötilan noustessa vedenpoisto paranee viskositeetin pienentyessä. Viiraosan todellinen vedenpoistotapahtuma poikkeaa huomattavasti Darcyn yhtälön



kuvaamasta hitaasta ja rauhallisesta vedenpoistosta. Suotautumisvastus riippuu todellisuudessa sulpun hetkellisestä sakeudesta ja massan ominaisuuksista, joten suotautumistapahtuman matemaattinen mallintaminen on hyvin vaikeaa.

Tietyn kuitumateriaalin suotautumisvastus ei ole yleinen, yksiselitteinen kuitumateriaalia kuvaava suure. Suotautumisvastuksen suuruus riippuu retention, nollakuitujen liikkeen, kokoonpuristuvuuden, kuitukerroksen reologisten ominaisuuksien ja kuitujen flokkaantumistaipumuksen vuoksi olennaisesti suotautumisoloista /1/. Tietyissä olosuhteissa mitatut suotautumisvastusarvot eivät aina aseta massoja samaan järjestykseen suotautuvuuden suhteen kuin joissain toisissa olosuhteissa mitatut arvot.

Perälaatikosta viiralle tulevassa sulpussa oleva vesi voidaan jakaa kolmeen luokkaan /3,4/:

- Vapaa vesi, joka on muodostuvan rainan huokosissa sekä hienoaineen ja kuitujen välisissä huokosissa.
- Vesi, joka on tiiviisti sitoutunut kuitujen pinnoille vetysidoksilla.
- Sitoutunut vesi, joka on osa kuidun kemiallista tai kiteistä rakennetta.

Rainan rakenteelle asetettavat vaatimukset määräävät suotautettavan sulpun sakeuden ylärajan ja keinot, joita veden erottamiseen voidaan käyttää /1/. Pyrkimyksenä on saavuttaa hyvä retentio ja nopea suotautuminen sekä riittävä märkälujuus rainalle ennen puristinosaa. Vedenpoisto on pyrittävä saamaan optimaaliselle tasolle paperikoneella, koska liiallinen vedenpoisto voi aiheuttaa ongelmia, kuten /4,5/:

- liiallista huokoisuutta
- reikäisyyttä
- huonon formaation
- huonontunutta vastetta vakuumille imulaatikoilla
- kuitujen korostunutta z-suuntaista jakaumaa, mikä huonontaa paperin lujuutta
- toispuoleisuutta

Tässä kappaleessa selvitetään vedenpoiston vaiheita paperikoneen viiraosalla ja mekanismeja, joilla vesi poistuu kuitususpensiosta.

## **2.1 Vedenpoisto paperikoneella**

Vedenpoisto paperikoneella saadaan aikaan viiralla ja imulaatikoilla (viiraosalla) sekä myöhemmin puristin- ja kuivatusosalla. Paperikoneen perälaatikosta puristimelle ulottuvalla vyöhykkeellä eli märässä päässä laimeasta sulpusta muodostuu raina, joka jatkaa kulkuaan puristinosalle. Tällä alueella suurin osa paperin lopullisista ominaisuuksista muodostuu. Viiraosan jälkeen paperin perusominaisuuksia voidaan enää vähäisessä määrin muuttaa. Viiraosan vedenpoistoon ja paperikoneen märänpään toimintoihin onkin alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota.

Vedenpoisto paperikoneella voidaan jakaa suotautumis-, vakuumi-, puristus- ja kuivatusvaiheisiin /9/. Vedenpoisto tulee vaihe vaiheelta kalliimmaksi jokaisen vaiheen kuluttaessa enemmän energiaa kuin sitä edellinen. Paperikoneen viiraosan vedenpoisto käsittää suotautumis- ja vakuumivaiheet. Laboratoriolaitteilla simuloidaan yleensä kahta ensimmäistä vaihetta. Puristusvaiheen olosuhteiden simulointi on kuitenkin viime aikoina saanut enemmän huomiota.

### **2.1.1 Vedenpoisto viiraosalla**

Laimean perälaatikkomassan tullessa viiralle vesi virtaa nopeasti viiran läpi /9/. Kuidut muodostavat viiran päälle verkoston. Suotautumisvaihe alkaa perälaatikosta ja päättyy ensimmäiselle imulaatikolle. Vedenpoisto viiraosan alkupäässä tapahtuu painovoiman ja foilien sekä pienen vakuumin vaikutuksesta /10/. Viiran läpi virrannut vesi kierrätetään takaisin massan valmistukseen.

Suotautumisvaiheessa poistuvat vesimäärät ovat suuria, ja muodostuvan rainan kuiva-ainepitoisuus on suhteellisen alhainen. Tällä alueella massan kuiva-ainepitoisuus kasvaa keskimäärin 0,5 %:sta 8 %:iin /9/. Suotautumisvaiheessa poistuu noin 94 % eli suurin osa massan kokonaisvesimäärästä. Mitä tehokkaampi vedenpoisto on suotautumisvaiheessa, sitä parempi koko prosessi on taloudellisesti. Vedenpoisto

suotautumisvaiheessa on taloudellisesti tärkeää energiankulutuksen ja koneen tuotantonopeuden kannalta. Suotautumisvaiheen ollessa merkittävässä roolissa paperin valmistusprosessissa sen mallintaminen laboratoriossa antaa hyödyllistä tietoa paperinvalmistajalle.

Vakuumivaihe käsittää imulaatikoiden vaikutusalueen. Rainan kulkiessa imulaatikoiden yli raina painautuu kasaan ja vettä puristuu massasta. Vedenpoisto kuitumatosta tapahtuu voimakkaiden imupulssien vaikutuksesta. Viiraosan lopussa rainan kuiva-ainepitoisuus nousee noin 20 %:iin /9/. Massan alkuperäisestä vesimäärästä poistuu vakuumivaiheessa noin 6,5 %.

### **2.1.2 Vedenpoisto puristin- ja kuivatusosalla**

Imujen vettä poistava vaikutus on rajallinen, ja rainan vedenpoistoa jatketaan paperikoneella puristamalla sitä kahden telan välisessä nipissä huovan kanssa, jolloin vettä poistuu rainasta huopaan. Optimaalisissa olosuhteissa vettä voidaan poistaa 1 % alkuperäisestä vesimäärästä ja puristuksen jälkeen voidaan saavuttaa 35-40 % kuiva-ainepitoisuus /9/.

Puristuksen jälkeen vettä voidaan poistaa rainasta kuivatusvaiheessa lämmön avulla. Tässä vaiheessa voidaan poistaa kuitujen pinnalle sitoutunutta vettä /3/. Kuivatusvaihe on kallein vedenpoiston vaiheista, ja siinä poistetaan vain noin 1 % kokonaisvesimäärästä /9/.

## **2.2 Vedenpoiston mekanismit**

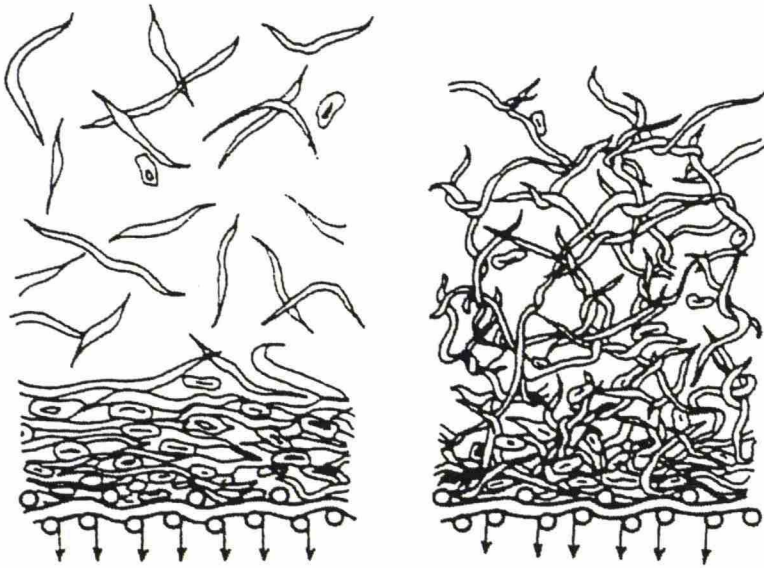
Vesi poistuu massasta paperikoneen viiraosalla kolmella eri mekanismilla, joita esiintyy samanaikaisesti /5/. Mekanismit ovat suotautuminen, sakeutuminen ja turbulentti sakeutuminen. Kuitumaton muodostuttua viiralle suotautumalla, sakeutumalla tai niiden yhteisvaikutuksesta, kuitumaton kokoonpuristuvuus on tärkeä tekijä veden poistumisen jatkuessa /11/.



Paperikoneella vedenpoiston alkuvaihe tapahtuu suotautumalla. Suotautumisessa kuidut pääsevät liikkumaan vapaasti toisistaan riippumatta /11,12/. Suotautumisen alkaessa viiralle alkaa muodostua kuituverkosto. Selkeä raja syntyy jo suotautuneen kuitumaton ja sen yläpuolella olevan vapaan ja sakeudeltaan lähes muuttumattoman kuitususpension välille. Myöhemmässä vaiheessa suotautumivastus alkaa kasvaa kuitumaton paksuuden kasvaessa. Samalla kuitumatto suodattaa läpivirtaavasta vedestä kiintoainetta kuitumattoon. Suotautumismekanismilla muodostuneen rainan rakenne on kerrostunut, koska kuidut jakaantuvat tasaisesti kuitumattoon eikä paksuussuunnassa muodostu kuitujen välille kovin runsaasti yhdistäviä sidoksia. Loppuvaiheessa vedenpoisto alkaa muistuttaa sakeutumista, kun kuituvälien vesi poistuu, ja raina alkaa läpäistä ilmaa ja tiivistyä.

Sakeutumisessa kuidut ovat kietoutuneet toisiinsa verkostoksi /11/. Verkoston rakenne painuu kasaan vedenpoiston edetessä rainan yläpintaan kohdistuvan paineen vaikutuksesta. Vesi poistuu samanaikaisesti koko suspensiosta, ja suspension sakeus kasvaa tasaisesti yläpuolelta viiraa kohti. Sakeutuminen muistuttaa suotautumisen loppuvaihetta, jossa kuitumatto puristuu kokoon. Sakeutumalla syntyneen rainan rakenne on huopautunut. Huopautuneessa rakenteessa kuidut ovat asettuneet vapaasti eri suuntiin, ja ne muodostavat runsaasti sidoksia myös paksuussuunnassa /2/. Sakeutumisen tapahtuessa vesi poistuu massasta nopeasti, mutta hienoaineen retentio jää alhaisemmaksi suotautumiseen verrattuna. Käytännössä viiraosaa ei voida suunnitella niin, että vedenpoisto tapahtuisi sakeuttamalla. Tällöin vedenpoisto vaatisi koko ajan voimakasta turbulenssia, jotta kuitumattoa ei pääsisi muodostumaan. Seurauksena olisi retention voimakas heikkeneminen. Kuvassa 1 on esitetty vedenpoiston mekanismit.





*Kuva 1. Kuituspension vedenpoiston mekanismit /13/. Vasemmalla suotautuminen ja oikealla sakeutuminen.*

Turbulentti sakeutuminen on moderneilla paperikoneilla vallitseva rainanmuodostusmekanismi, jossa kuitumatto vuoroin muodostuu ja vuoroin hajoaa painepulssien vaikutuksesta /14,15/. Turbulentti sakeutuminen on yhdistelmä suotautumis- ja sakeutumismekanismeista. Turbulenssin vaikuttaessa suotautuminen tapahtuu nopeasti ja mekaaninen retentio on vähäistä. Turbulenssin heikettyä kuitumaton muodostuminen jatkuu suotautumismekanismeilla.

### 3 RETENTIO

Paperinvalmistusprosessissa retentio ja vedenpoisto ovat toisistaan riippuvia tapahtumia. Retentioaineiden tarkoitus on parantaa retentiota ja ne vaikuttavat myös vedenpoistoon paperikoneella. Tässä kappaleessa käsitellään retentiota ja retentiomekanismeja.

#### 3.1 Viiraretentio

Retentiolla tarkoitetaan prosessiin syötettävän raaka-ainemäärän suhdetta valmiiseen tuotteeseen jäävään raaka-ainemäärään. Paperikoneen märkäosan retentiota kutsutaan

viiraretentioksi, ja sillä tarkoitetaan perälaatikosta tulevan kokonaiskiintoainemäärän viiralle jäävää osuutta. Retentiokäsitteitä voidaan määritellä monia riippuen siitä, miten prosessi rajataan ja mitä raaka-ainekomponentteja tarkastellaan. Esimerkiksi hienoaine-, täyteaine- ja kuituretentio viiralla voidaan määrittää.

Paperinvalmistuksessa käsiteltävät massasuspensiot sisältävät erilaisten veteen liuenneiden aineiden lisäksi pääasiassa kuituja ja huomattavasti kuituja pienempiä hienoainepartikkeleita. Massasuspensiossa voi myös olla täyteainetta, päällystyspigmenttiä, lateksia ja muita aineita. Erikokoiset komponentit suotautuvat viiralla eri tavoin, ja pienimmät partikkelit pyrkivät rikastumaan vesikiertoon. Retentio voidaan jakaa mekaaniseksi retentioksi ja kolloidiseksi retentioksi /7/. Mekaaninen retentoituminen tapahtuu suotautumalla ilman kemikaaleja, jolloin partikkelit pidättäytyvät mekaanisesti rainan rakenteeseen. Kuitujen retentio tapahtuu pääasiassa mekaanisen retention mekanismilla. Kolloidinen retentio käsittää pienten hiukkasten retention. Kuituja huomattavasti pienempien partikkelien retentio viiralla on huono, siksi kolloidista retentiota parannetaan retentioaineilla. Hienoaineen retentio on suurimmaksi osaksi mahdollista vain retentioaineiden avulla, koska ne sitovat hienoaineen kuituihin ja toisiin partikkeleihin. Retentioaineet vaikuttavat partikkelien pintakemialliseen tilaan siten, että partikkelit liittyvät yhteen tai tarttuvat kuituihin muodostaen suurempia kasaumia.

Nopeilla paperikoneilla hienoaineen retentio on huono monien tekijöiden seurauksena. Tärkeimpänä tekijänä on todennäköisesti rainan rakenteen rikkoutuminen viiraosalla olevien vedenpoistoelinten aiheuttamien ylöspäin suuntautuvien painepulssien vaikutuksesta /16/. Kuitumaton rikkoutuminen ja uudelleenmuodostuminen vuorottelevat imupulssien seurauksena. Kuitumaton rikkoutuessa siihen mekaanisesti retentoituneet hienoainepartikkelit saavat uuden tilaisuuden kulkeutua veden mukana pois rainasta.

## **3.2 Retentiomekanismit**

### **3.2.1 Varausten neutralointi**

Negatiivisesti varautuneen kuidun tai täyteainepartikkelin varaus neutraloituu, kun sen varausmäärää vastaava määrä kationista polymeeriä adsorboituu partikkelin pintaan. Flokkaukselle optimaalinen konsentraatio saavutetaan kun partikkelien zetapotentiaali on nolla, silloin sähköstaattisesti stabiloitu kolloidi flokkautuu. Varausten neutraloinnin mekanismeilla toimivat esimerkiksi erimuotoiset alumiinikationit ja disyaanidiamidit /4/.

### **3.2.2 Mosaiikinmuodostus**

Mosaiikinmuodostuksessa kationinen polymeeri adsorboituu negatiivisesti varautuneen kuidun tai täyteainepartikkelin pintaan ja neutraloi paikoin partikkelin varauksen /4/. Partikkelin pintaan muodostuu positiivisesti varautuneita laikkuja osan pinnasta jääden negatiivisesti varautuneeksi. Eri partikkelien vastakkaismerkkisesti varautuneiden alueiden välille syntyy attraktiovoimia. Flokit muodostuvat eri hiukkasten positiivisesti varautuneiden laikkujen ja vielä vapaiden negatiivisesti varautuneiden alueiden vuorovaikutuksen seurauksena.

Retentiopolymeerit, jotka toimivat mosaiikinmuodostuksen kautta ovat suhteellisen voimakkaasti varautuneita lyhytketjuisia polyelektrolyyttejä, kuten polyetyleni-imiini, polyamiinit, polyDADMAC, alhaisen molekyylipainon polyakryyliamidi ja kationinen tärkkelys.

### **3.2.3 Sillanmuodostus**

Sillanmuodostuksessa polymeeri adsorboituu kahteen eri partikkeliin, minkä seurauksena tapahtuu flokkaantuminen /4/. Oletettavasti partikkeliin adsorboituneen polymeerin hännät ja lenkit voivat ulottua pitkälle liuokseen ja kahden partikkelin



kohdatessa häntä voi adsorboitua toiseen partikkeliin. Jos polymeeri on pitkäketjuinen, voi sillanmuodostus tapahtua suhteellisen suurillakin etäisyyksillä. Sillanmuodostus ei juurikaan vaikuta systeemin z-potentiaaliin.

Sillanmuodostusmekanismilla toimivat pitkäketjuiset polyelektrolyytit, tyypillisesti polyakryyliamidit. Sillanmuodostuksen seurauksena muodostuu suuria aggregaatteja, jotka flokkautuvat.

## 4 VEDENPOISTOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat vedenpoistoon paperikoneella ovat massan ominaisuudet, tuotespesifikaatiot ja paperikoneen olosuhteet /11/. Kuitususpensio on osoittautunut suotautumisominaisuuksiltaan erittäin monimutkaiseksi aineeksi /1/. Massalaji, massan käsittely, massan sakeus ja hienoaineen ja tuhkan määrä sulpussa vaikuttavat siihen, miten massa käyttäytyy vedenpoiston aikana /17/. Mainitut tekijät vaikuttavat muodostuvien flokkien ja sitä kautta arkin rakenteeseen. Muodostuvan kuitumaton flokkirakenteella on suuri vaikutus vedenpoistoon vakuumi-, puristus- ja kuivatusvaiheissa. Suuret, bulkkiset flokit sitovat itseensä vettä, jolloin vedenpoisto jatkossa vaikeutuu.

Kuitususpension suotautumisnopeuteen vaikuttavat mm. seuraavat asiat /1,4,18/:

- massan hienoainepitoisuus
- suspensiossa oleva häiriöainne ja kolloidit
- suspensiossa olevat pinta-aktiiviset aineet
- suspensiossa oleva ilma
- kuitujen pintaominaisuudet (varaus, topografia)
- kuitujen kokoonpuristuvuus
- massassa olevien flokkien laatu ja määrä
- massan lämpötila
- massan pH
- massan sakeus



Tässä kappaleessa selvitetään, miten massan ominaisuudet ja erityisesti massan kemikalointi vaikuttavat vedenpoistoon.

#### **4.1 Massan ominaisuudet**

Suspensiossa oleva hienoaine, häiriöaineet ja kolloidit yleensä hidastavat suotautumista. Hienoaine pyrkii kulkeutumaan veden mukana viiraa kohti rainan muodostuessa. Hienoaine tarttuu huuhtoutuessaan kuitujen väleihin, jolloin rainan huokokset vähitellen tukkeutuvat. Suotautuminen hidastuu huokosten tukkeutumisen myötä. Ilmaa pääsee massaan voimakkaan sekoituksen yhteydessä ja se hidastaa suotautumista. Ilma, kuten hienoaine ja kolloiditkin, hidastaa vedenpoistoa tukkimalla huokosia, joiden läpi vesi voisi päästä kulkemaan /5/. Pinta-aktiiviset aineet sulpussa edesauttavat suotautumista. Pinta-aktiiviset aineet voivat kuitenkin aiheuttaa vaahtoutumisongelmia ja ne voivat häiritä liimausta ja kuitujen välistä sitoutumista /4/. Massan lämpötilan noustessa suotautuminen nopeutuu veden viskositeetin ja pintajännityksen alentuessa. Massan sakeuden kasvaessa suotautumisnopeus hidastuu. Matala pH ja pieni kokoonpuristuvuus edistävät suotautumista. Massan kokoonpuristuvuus riippuu kuitulajista.

Jauhatuksessa syntyy hienoainetta ja kuitujen pinnat fibrilloituvat. Fibrilloitumisen seurauksena kuidun ominaispinta lisääntyy ja vedenpoisto massasta vaikeutuu /17,19/. Suotautumista voidaan parantaa hienoaineen määrää ja kuitujen fibrilloitumista minimoimalla. Massan jauhatus voi vaikuttaa suotautumisnopeuteen myös muuttamalla syntyvän kuitumaton rakennetta.

Hienoainepitoisuus vaikuttaa suotautumis- ja vakuumivaiheen vedenpoistoon. Suotautumisvaiheessa vedenpoisto paranee Brittin ja Unbehendin /20/ mukaan hienoainepitoisuuden laskiessa, vaikka alle 10 % hienoainepitoisuuksilla ei juuri enää tapahdu muutoksia. Vedenpoistolla vakuumivaiheessa on tutkimuksen mukaan olemassa optimi massan hienoainepitoisuuden suhteen. Vedenpoisto paranee ainakin 24 % hienoainepitoisuuteen asti, mutta laskee siitä eteenpäin /20/. Korkeammilla

hienoainepitoisuuksilla positiivinen vaikutus häviää, kun hienoaineen vedenpidätyskyky ylittää tiiviimmän arkin tuoman edun.

Nykyaikaisilla paperikoneilla hienoainepitoisuuksien kasvu on seurausta koneen nopeuden kasvusta, massojen hienoainepitoisuuksien korkeasta tasosta ja vesikiertojen sulkemisesta. Kierrätyskuidun kasvava käyttö lisää myös hienoainepitoisuutta massassa. Hienoaineen retention ollessa huono hienoaine rikastuu prosessiin, mikä ajan myötä vähentää poistettavissa olevan veden määrää ja hidastaa vedenpoistoa /5,21/.

#### **4.2 Retentio- ja vedenpoistokemikaalit**

Retentioaineiden vaikutus vedenpoistoon on pääasiassa positiivinen. Sama polymeeri voi usein parantaa sekä retentiota että vedenpoistoa /19/. Useimmat massan vedenpoiston nopeuteen tai tehoon vaikuttavat kemikaalit ovat kationisia polymeerejä /4/. Myös aluna ja polyalumiinikloridi (PAC) oikein annosteltuna voivat nopeuttaa vedenpoistoa. Yleensä vedenpoiston maksimointiin tarvittaisiin suurempi polymeeriannostelu kuin retention maksimointiin.

Vedenpoistokemikaalit parantavat formaatiota suotautumisen tapahtuessa nopeasti rainanmuodostusalueella. Mitä nopeammin raina muodostuu viiralle, sitä vähäisempää on kuitujen uudelleen flokkautuminen ja sen parempi formaatio saavutetaan.

Kuitujen ja hienoaineen flokkautuminen vaikuttaa rainan ilmanläpäisevyyteen ja rainanmuodostukseen /22/. Lisättävät kemikaalit vaikuttavat syntyvien flokkien määrään ja laatuun. Flokkautumisen lisääntyessä vedenpoisto nopeutuu, koska flokit sitovat itseensä hienoainetta ja kolloideja, jotka muuten häiritsisivät suotautumista /5,4/. Flokkaavat kemikaalit pienentävät yleensä massan ominaispinta-alaa nopeuttaen suotautumista. Mitä suurempi ominaispinta sitä suuremman vastuksen kuitumatto antaa veden virtaukseen /23/. Kuitenkin hyvin suuret, erityisesti turvonneet flokit sitovat paljon vettä, jonka poistaminen saattaa tuottaa vaikeuksia. Yleisesti ottaen polyelektrolyytit, jotka parantavat hienoaineen retentiota ja suotautumismopeutta,

johtavat vakuuimivaiheessa huomommin kuivuvaan arkkiin /24/. Kuitujen ja hienoaineen flokkautumisen seurauksena rainan pienimittakaavainen materiaali-jakauma tulee epätasaisemmaksi, formaatio huononee ja suurten huokosten määrä kasvaa. Initiaalivedenpoisto tapahtuu nopeasti epätasaisesta ja flokkisesta kuituverkostosta. Vakuumin vaikutuksesta vesi poistuu tällaisesta kuituverkostosta huonosti ilman virratessa huokoisen arkin läpi. Formaation ja pienimittakaavaisen materiaali-jakauman tasoittumisella on edullinen vaikutus tyhjävedenpoistoon. Tyhjävedenpoistoa voidaan parantaa käyttämällä polymeeriä, joka ei synnytä kuitu/kuitu-flokkeja tai järjestämällä perälaatikkoon kuituflokkeja hajottava sekoitus, jolloin rainasta tulee tasaisempi /19/.

Forsbergin ja Strömin /25/ DDA:lla tekemän tutkimuksen mukaan retentio ja erityisesti suotautumisnopeus alenevat polymeerin ja massan välisen kontaktiajan kasvaessa. Korkea retentio ja nopea vedenpoisto saavutettiin, kun kontaktiaika oli lyhyt, 10-20 s. Pidemmällä kontaktiajoilla retentio huononi ja suotautumisaika hidastui huomattavasti flokkien ja kemikaalin hajoamisen ja vähäisen uudelleenflokkautumisen seurauksena. Strattonin /19/ mukaan vedenpoistoa parantavien kemikaalien tulisi olla vuorovaikutuksessa hienoaineen ja kuitujen pinnan fibrillien kanssa. Jos polymeeri kiinnittää hienoaineen kuituihin ennen arkin muodostumista, hienoaineen kulkeutumisen huokosia tukkiva vaikutus estyy ja vedenpoisto paranee.

Ideaalitapauksessa polymeerin käytöllä saavutetaan seuraavat asiat /26/:

- nopea suotautuminen
- hyvä retentio
- hyvä vaste vakuumille
- ei epäsuotuisaa vaikutusta märkäpuristuksessa

Paperikoneen mekaaniset vedenpoistoelimet olisi saatava optimikuntoon ennen vedenpoistokemikaalien valintaa /4/. Puutteellisesti toimivia vedenpoistoelimiä ei voida korvata kemikaalien käytöllä.



#### 4.2.1 Polyakryyliamidit

Polyakryyliamideja (PAM) käytetään yleisesti retentioaineina. Polyakryyliamidi voi olla joko anioninen (APAM) tai kationinen (CPAM) /4/. PAM:ien vaikutus vedenpoistoon voi vaihdella paljon systeemistä toiseen, puuttua kokonaan tai olla epäedullinen, jos paperin pohjanmuodostus on epätasainen. APAM:ia voidaan käyttää yksin täyteainepartikkelien silloittajana. Etupäässä APAM:ia käytetään kaksikomponenttijärjestelmissä kationisten retentioapuaineiden, kuten alunan, polyamiinien, polyetyleni-imiinin (PEI) ja kationisen tärkkelyksen kanssa. APAM:n suuresta moolimassasta johtuva ylisuurten flokkien muodostuminen voi olla ongelma paperin formaation jäädessä epätasaiseksi. APAM:lla saavutetaan usein erittäin hyvä retentio mutta hidas vedenpoisto CPAM:iin verrattuna, minkä syynä arvellaan olevan erilainen fibrillien konformaatio APAM:n ja CPAM:n välillä /4/.

Kationinen PAM on tärkein paperinvalmistuksessa retention parannukseen käytetty polyelektrolyytti /4/. CPAM:n teho perustuu esiadsorptioon kuidun tai täyteaineen anionisiin kohtiin ja sen jälkeiseen hiukkasten väliseen silloittumiseen. Silloittuminen voimistuu polymeerin moolimassan kasvaessa, mutta varauksen suhteen on löydettävä systeemille optimaalinen kationisuusaste. CPAM:n vaikutus vedenpoistoon on Urickin ja Fisherin /3/ mukaan edullinen. Tutkimuksen mukaan suotautumisenopeus parani molekyylipainon ja kationisen varauksen kasvaessa. Tietyllä annostasolla saavutettiin vedenpoistolle optimi. Massan hienoaineen määrä vaikutti saavutettavissa olevaan suotautumisenopeuteen, mutta ei juurikaan kemikaalin optimiannokseen.

Springer et al. /26/ ovat tutkineet kationisen, korkeamolekyylipainoisen ja -varaustiheyksisen PAM:n ja kationisen, alhaisen molekyylimassan ja korkean varaustiheyden PEI:n (polyetyleni-imiini) vaikutuksia vedenpoistoon. Tutkimukset tehtiin DVRT (Drainage, vacuum response and retention tester)-laitteella kartonkikoneen massaa käyttäen. Molemmat polymeerit paransivat vedenpoistoa ja retentiota annostason kasvaessa. Sekä PAM että PEI huononsivat vedenpoistoa vakuuminvaiheessa, mutta vaikutus oli suurempi PAM:lla. PAM sai aikaan suurempia flokkeja kuin PEI, jolloin arkista muodostui huokoisempi ja ilma pääsi virtaamaan sen läpi vakuuminvaiheessa. Suotautumisenopeus parani molempien kemikaalien



vaikutuksesta, minkä seurauksena pääteltiin huokosten tilavuuden vaikuttavan flokkikokoa enemmän suotautumismopeuteen.

Krogerus /27/ tutki kemikaalien vaikutusta DDA:n (Dynamic Drainage Analyzer) suotautumisvaiheen vedenpoistoon mekaanista massaa käyttäen. Tutkimusten perusteella keski- ja korkeavarauksinen CPAM ei vaikuttanut vedenpoistoon. Alhaisen varauksen CPAM ja erityisesti APAM hidastivat vedenpoistoa. Ilmeisesti heikko elektrostaattinen vuorovaikutus polymeerin ja pinnan välillä on haitallinen suotautumismopeuden kannalta.

#### 4.2.2 Aluna

Aluna on happo, jota käytetään retention ja vedenpoiston parantamiseen. Hienoaine adsorboituu kuituihin koaguloitumalla, jolloin flokkautuminen tapahtuu luultavimmin varausten neutraloinnin mekanismilla. Yksin käytettäessä aluna nopeuttaa vedenpoistoa massasta tiettyyn pisteeseen saakka, mutta tämän jälkeen vaikutus huononee annostuksen kasvaessa /15/. Aluna saattaa hartsiliiman kanssa kuitenkin huonontaa vedenpoistoa. Happamassa paperinvalmistusprosessissa alunaa käytetään pH:n säätämisessä ja hartsiliimauksessa /28/.

#### 4.2.3 Tärkkelys

Tärkkelystä käytetään paperin märkä- ja kuivalujuuden, vedenpoiston ja täyteaineretention parantamiseen. Kationinen tärkkelys sopii parhaiten hienoaineen retentointiin /4,29/. Kationinen tärkkelys kiinnittyy ensin hienoaineeseen ja sitten kuituihin muodostaen flokkeja. Hienoaineen retentoituminen auttaa flokkautumista, joka puolestaan voi parantaa suotautumista /30/. Kationista tärkkelystä käytetään usein kaksikomponenttijärjestelmissä APAM:n tai kolloidisen piihapon kanssa.

Springer et al. /26/ tutkivat tärkkelyksen vaikutusta suotautumisvaiheen vedenpoistoon kartonkikoneilla. Tärkkelyksen vaikutuksia selvitettiin sekä ainoana lisättävänä kemikaalina että muiden kemikaalien kanssa. Tärkkelyksellä ei havaittu olevan

häiritsevää vaikutusta muiden polymeerien toimintaan. Pelkän anionisen tärkkelyksen todettiin vaikuttavan vedenpoistoon joko negatiivisesti tai positiivisesti massan ominaisuuksista riippuen. Kationinen tärkkelys 1 % annoksena paransi vedenpoistoa ja retentiota, mutta korkeampi annostaso johti vedenpoiston huonontumiseen. Käytettäessä tärkkelystä paperin lujuuden parantamiseen massan tärkkelyspitoisuus voi nousta liian korkeaksi ja vedenpoisto kärsii.

#### **4.2.4 Polyeteenioksidi**

Polyeteenioksidi (PEO) on täysin non-ioninen polymeeri, joka on pitkäketjuisin retentiopolymeereistä /4/. PEO-järjestelmät ovat kemikaalikustannuksiltaan kalliita eivätkä ole Suomessa kovin yleisiä. PEO toimii parhaiten kaksikomponentti-järjestelmässä esimerkiksi fenolihartsin kanssa. PEO sopii käytettäväksi yksinäänkin mekaanisten massojen kanssa, koska niistä löytyy luonnostaan PEO:n toiminnalle oleellisia fenoliryhmiä. PEO:a käytetäänkin etupäässä sanomalehtipaperikoneilla.

Allen et al. /31/ tutkivat retentioaineiden toimintaa erilaisilla vesikiertojen sulkemisasteilla sanomalehtipaperikoneella. Sulkemisasteen ollessa korkea PEO-fenoliharts-yhdistelmä toimi parhaiten, koska se paransi hienoaineen retentiota, suotautumismennopeutta ja WRV-arvoa. Tulosten perusteella vesikiertojen sulkeminen haittaa kationisten polymeerien toimintaa. Non-ionisten polymeerien toimintaan vesikiertojen sulkeminen ei vaikuta tai vaikuttaa jopa edullisesti.

#### **4.2.5 Kondensaatiopolymeerit**

Kondensaatiopolymeereillä on edellä mainittuihin polymeereihin verrattuna lyhyempi molekyyliketju, mutta huomattavasti suurempi varaustiheys. Kondensaatiopolymeerien varaus on kationinen ja niiden vaikutusmekanismit riippuvat sekä varaustiheydestä että moolimassasta. Paperiteollisuudessa käytettäviä kondensaatiopolymeerejä ovat polyetyleni-imiinit (PEI), polyamiinit, polyamidoamiinit ja niiden epikloori-hydriini johdokset sekä disyaanidiamiinit /4/. Polymeerit, kuten PEI, ovat suhteellisen

heikkoja retention parannusaineita mutta ne muodostavat pieniä, tiiviitä flokkeja, jotka vaikuttavat suotuisasti vedenpoistoon paperikoneella /32/.

#### 4.2.6 Kaksikomponenttisysteemit

Kaksikomponenttisysteemit koostuvat yleensä kationisesta korkeavarauxsisesta polymeeristä (PEI, poly-DADMAC tai kationinen tärkkelys), jolla on alhainen moolimassa ja anionisesta polyakryyliamidista, jolla on korkea moolimassa /5,28/. Kaksikomponenttisysteemejä ovat myös kationinen tärkkelys käytettynä anionisen tai kationisen PAM:n kanssa tai PEO käytettynä PEI:n tai fenolihartsin kanssa. Kaksikomponenttisysteemeissä ainakin toinen komponenteista toimii silloitusmekanismin mukaan /4/. Massaan lisätään ensin kationinen polymeeri, joka muodostaa laikkuja flokattavien partikkelien pinnoille. Anioninen polymeeri lisätään viimeisenä lähellä perälaatikkoa, ja se toimii siltana laikkujen välillä. Anionisen polymeerin varaustiheyttä, molekyyliainetta ja annostelutasoa säätämällä optimoidaan massan retentio- ja vedenpoisto-ominaisuuksia. Liian tehokas systeemi voi johtaa ylisuurten flokkien muodostumiseen, jolloin paperin formaatio kärsii.

Saharisen /7/ mukaan kaksikomponenttisysteemien (mukaan lukien mikropartikkeli-systeemi) toimintaan vaikuttavia tekijöitä olivat viive komponenttien annostelujen välillä, eri komponentteihin kohdistuvat leikkausvoimat, annostelujärjestys ja komponenttien määrät.

#### 4.2.7 Mikropartikkelisysteemit

Koagulointi saadaan aikaan flokkaamalla massa ensin kationisella polymeerillä, jonka molekyyliainetta on suhteellisen korkea, annostason ollessa suhteellisen korkea /32/. Polymeeri annostellaan ennen perän syöttöpumppua, pyörrepuhdistimia tai konesihtejä, jotta flokattuun massaan kohdistuisi leikkausvoimia ennen hienojakoisen, korkean ominaispinnan omaavan negatiivisesti varautuneen mikropartikkelin, kuten bentoniitin annostelua. Kationinen polymeeri flokkaa massan partikkelit silloitusmekanismin



avulla. Leikkausvoimien vaikutuksesta flokit rikkoontuvat, jolloin kuitu-kuitusiltoina toimivat polymeeriketjut katkeilevat mutta muita suspendoituneita, pienempiä partikkeleita kuituihin yhdistävät polymeerisillat säilyvät. Katkeilevat ketjut kiinnittyvät tiiviimmin partikkelien pintaan eikä silloittuminen enää ole mahdollista, ja partikkelit saavat näin halutun varauksen ja massa on mikroflokkaantunutta. Anioninen komponentti lisätään, jolloin kationiset alueet kiinnittyvät toisiinsa mikropartikkelien välityksellä /4/. Esikäsitellyn massan varauksen ja ominaispinnan tulisi olla tasapainossa toisen lisättävän komponentin varauksen ja ominaispinnan kanssa.

Esimerkkejä mikropartikkelisysteemeistä ovat kationinen tärkkelys ja anioninen piihappo (Composil-systeemi), kationinen PAM ja anioninen bentoniitti (Hydrocol-systeemi) sekä kationinen tärkkelys ja kolloidinen alumiinihydroksidi (Hydrosil) /4/. Composil- ja Hydrocol-systeemit ovat toistaiseksi menestyneet, ja niiden suosio on lisääntynyt erityisesti kartonkikoneilla ja neutraalin hienopaperin valmistuksessa.

Mikropartikkelitekniikkaa käytettäessä ei pitäisi olla ongelmia huonon tyhjövedenpoiston kanssa, koska rainan pohjarakenne on yleensä tasainen ja pieniflokkinen. Kiintoaine koaguloituu tasaiseksi, avoimeksi verkostoksi, joka luovuttaa itsestään vettä huomattavasti helpommin kuin tavallisella sillanmuodostuksella syntynyt flokkirakenne /4/.

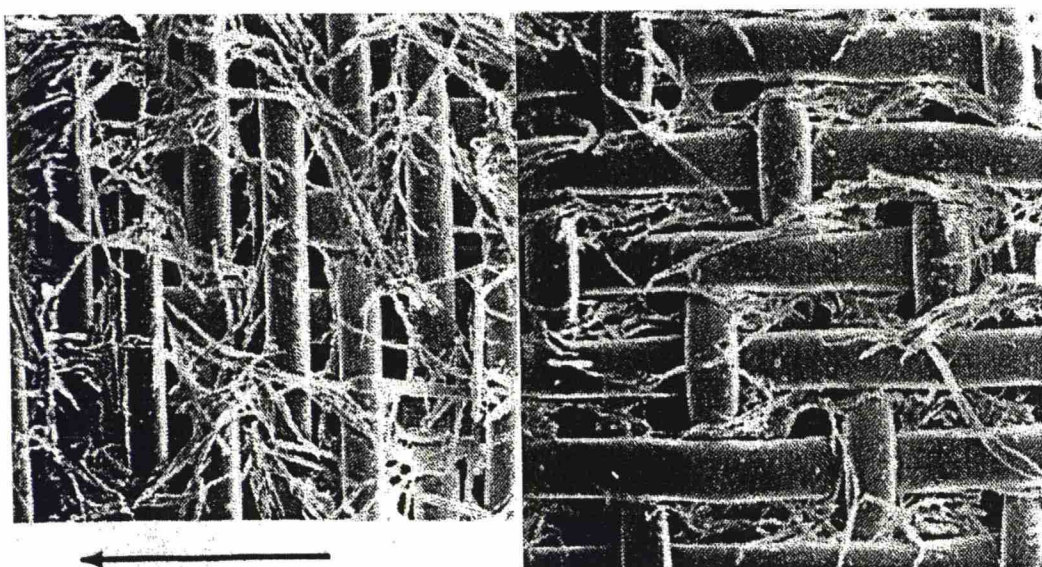
### **4.3 Viira**

Yleisesti ottaen viiran tehtävinä on veden poistaminen massasta, rainanmuodostus ja rainan kuljettaminen puristimelle. Viiran on kontrolloitava suotautumisnopeutta mutta myös oltava rakenteeltaan sellainen, että se estää kuitujen ja hienoaineen kulkeutumisen veden mukana pois paperista /33/. Viiran avoimuus on kriittinen tekijä. Jos viira on hyvin avoin, suotautuminen tapahtuu liian nopeasti eikä laadukasta arkkiä saada aikaiseksi. Viiran vedenpoistokapasiteetin puuttuminen johtaa myös huonolaatuisen tuotteen ja paperikoneen tehokkuuden heikkenemiseen. Viiran toiminta riippuu sen rakenteesta, tiheydestä ja sitä kautta suotautumiskanavien kolmiulotteisesta muodosta, koosta ja jakautumisesta.



Suotautumisen alkaessa rainanmuodostus on vuorovaikutusta kahden orientoituneen systeemin, orientoituneiden kuitujen ja viiran pintalankojen välillä /34/. Initiaalinen kuitumatto, joka muodostuu viiran pinnalle, vaikuttaa suotautumiseen muodostamalla suotautumiselle pullonkaulan lähelle viiran pintaa. Vaikutuksen suuruus riippuu siitä, miten syvälle kuitumatto painautuu viiraan. Kuitumaton painautumiseen vaikuttaa viiran pinnan tukipisteiden jakautuminen ja lukumäärä. Näiden tukipisteiden määrä on viiran kone- ja poikkisuuntaisten lankojen lukumäärän funktio. Painautumisilmiöön vaikuttaa viiran rakenteen lisäksi monet paperikoneen ajoparametrit. Nopea rainan initiaalimuodostus, esimerkiksi kun massa suihkutetaan kovalla paineella perälaatikosta viiralle, lisää painautumisen määrää. Vedenpoistoelimillä pyritään turbulenssin välityksellä rikkomaan muodostuvan rainan rakenne, jotta viiran pinnalle ei muodostuisi tukkivaa kuitukerrosta.

Suotautumisnopeuteen vaikuttaa voimakkaasti viiran yläpinnan lankojen säietiheys ja pintalankojen suunta. Hellen /34/ mukaan suotautuminen on nopeampaa, kun raina muodostuu niin että kuituorientaatio on kohtisuorassa viiran pitkien pintalankojen suhteen. Monet massan ominaisuudet vaikuttavat kuitujen järjestäytymiseen viiran pinnalle ja siten myös suotautumisnopeuteen. Näitä tekijöitä ovat mm. kuidun jäykkyys, kuidun pituus ja hieno- ja täyteaineen määrä. Esimerkiksi viiran pitkien pintalankojen ollessa konesuuntaan kuidut tukkivat viiran avoimet välit ja suotautuminen tapahtuu hitaammin, kuin jos pitkät pintalangat olisivat poikkisuuntaan. Kuvassa 2 on esitetty viiran pintalankojen suunnan vaikutus initiaaliseen rainanmuodostukseen.



*Kuva 2. Arkinmuodostus viiralle /34/. Nuoli osoittaa konesuunnan. Vasemmalla kuidut ovat alkaneet muodostaa rainaa kohtisuoraan pitkien pintalankojen suhteen. Oikealla kuidut ovat suuntautuneet pitkien pintalankojen suuntaisesti.*

Viiran avonaisuus /33/ on perinteinen tapa kuvata kudoksen suotauttamiskapasiteettia. Nykyään kudosten kolmiulotteisuuden seurauksena viirojen avointen välien tai huokosten tilavuuden avulla kuvataan kapasiteettia. Rainan ja viiran rajapinta on tärkeä tekijä, kun puhutaan viiran suotauttamiskapasiteetista.

Monikerrosviirojen myötä initiaalisuotautuminen on saatu hitaammaksi, jolloin kuitumatto muodostuu hitaammin ja tasaisemmin viiran pinnalle /33/. Suotautumisnopeuden pieneneminen johtuu siitä, että kolmiulotteisen viiran sisällä kulkeva vesi ja hienoaine joutuvat vaihtamaan suuntaansa useita kertoja, jolloin virtausnopeus pienenee. Suotautumisnopeuden pieneneminen vähentää hienoaineen kulkeutumista pois rainasta initiaalisuotautumisvaiheessa parantaen retentiota. Viirojen pinnalla on enemmän tukipisteitä kuin aikaisemmin. Tukipisteiden lisäämisen seurauksena suotautuminen tapahtuu nopeammin koko viiraosalla, koska kuitujen painautuminen viiraan on vähäisempää eikä pullonkaulaa suotautumiselle synny.

#### **4.4 Vakuumi ja pulseeraus**

Suurin osa poistettavasta kokonaisvesimäärästä poistuu painovoiman vaikutuksesta. Kun rainan kuiva-ainepitoisuus on noin 5 % massasta riippuen, painovoimavai-



kutteinen vedenpoisto lakkaa /24/. Vettä voidaan poistaa ennen puristusta kohdistamalla rainaan vakuumi. Ensimmäiset imulaatikot kohdistavat rainaan suhteellisen pienen, enimmillään 10 kPa:n alipaineen, jolloin vapaa vesi saadaan poistettua rainasta. Lopullinen vedenpoisto viiraosalla saadaan aikaan imulaatikoilla (15-40 kPa) ja huopautustelalla (80 kPa:n saakka) /35/. Veden poistuminen on jaksottaista ja tapahtuu vain vedenpoistoelinten kohdalla niiden aiheuttamien pulssien vaikutuksesta. Vesi poistuu kuitumatosta vakuumin vaikutuksesta kahdella tavalla, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään /24/. Kuitumaton kokoonpuristuminen työntää vettä kuitumatosta ja ilmavirtaus kuitumaton läpi vetää vettä mukanaan pois kuitumatosta.

Paperikoneella painepulsseja syntyy, kun viira ja sen päällä oleva massasuspensio liikkuvat vedenpoistoelinten ylitse. Pulssit vaikuttavat veden virtaamiseen kahdella tavalla /11,36/:

- Kuitumatto vuoroin puristuu kokoon, vuoroin laajenee, mikä johtaa hienoaineen uudelleenjakautumiseen z-suunnassa. Seurauksena on kuitumaton rakenteen avautuminen, jolloin veden virtaus kuitumatossa helpottuu.
- Kuitumaton alaosissa tapahtuu hienoaineen huuhtoutumista pois veden mukana. Seurauksena on epätasainen hienoainejakauma kuitumatossa.

Jatkuvavaikutteinen imu tiivistää kuitumaton, erityisesti viiraa lähinnä olevan kerroksen. Hienoaine ei tällöin pääse kulkeutumaan pois rainasta /22/. Painepulssien vaikutuksesta rainasta tulee avoimempi ja löyhärakenteisempi. Nopeat pulssit irrottavat tehokkaammin hienoainetta kuiduista, mikä vaikuttaa hienoaineretentioon /37/. Hienoaineretentio vaikuttaa vedenpoiston nopeuteen.

Vedenpoiston kannalta olennaisia prosessitekijöitä ovat imun vaikutusaika sekä imuvoimakkuus ja -profiili. Paperikoneilla imun tehollinen vaikutusaika vaihtelee välillä 20-450 ms ja yksittäisten imupulssien kesto on 0,35-13 ms /38/. Mitä korkeampi vakuumi on, sitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus voidaan saavuttaa. Vedenpoiston ja vakuumitason välinen yhteys ei kuitenkaan ole lineaarinen tai samanlainen kaikilla massoilla. Tarvittava vakuumitaso riippuu massan ominaisuuksista enemmän kuin neliöpainosta /10/. Mekaaniset massat vaativat korkeamman

vakuumitason kuin kemialliset massat. Vakuumitaso riippuu kuitumaton rakenteesta ja ilman virtausmäärästä /22/. Mitä löyhempi ja läpäisevämpi kuitumatto on, sitä korkeampi virtausmäärä tarvitaan tietyn vakuumitason saavuttamiseksi.

Gagnon ja Neun /39/ tutkivat vedenpoistoa rainasta imulaatikoiden vaikutuksesta. Vedenpoiston nopeus on voimakkaasti riippuvainen massan freeness-arvosta ja neliömassasta. Esimerkiksi 650 CSF lainerikartongista vesi poistui 0,5 sekunnissa mutta 400 CSF lainerikartonkimassasta kaksi kertaa hitaammin. Myös saavutettavissa oleva kuivuusaste tietyllä vakuumitasolla oli jälkimmäisellä massalla 1,0-1,5 % pienempi. Tulosten mukaan neliömassalla on suuri vaikutus vedenpoistoon. Kevyemmän arkin kuiva-ainepitoisuus saavuttaa korkeamman tason kuin painavampien laatujen, erityisesti vakuumitason ollessa korkea. 41 kPa:n alipaineessa kevyempi (127 g/m<sup>2</sup>) arkki oli käsittelyn jälkeen noin 3 % kuivempi kuin painavampi arkki (215 g/m<sup>2</sup>). Myös Britt ja Unbehend /24/ ovat todenneet tutkimustensa perusteella näytteen neliöpainon vaikuttavan suuresti tyhjävedenpoistoon.

Massan hienoainepitoisuudella näyttää olevan jonkinlainen optimi tyhjävedenpoiston suhteen /35/. Paras tulos saavutetaan, kun kuitumatto on tasaisesti rakentunut hienoaineen vaikutuksesta. Tasainen kuitumatto reagoi edullisesti imuun, mikä johtaa korkeampaan vakuumitasoon ja kuitumaton kokoonpuristumiseen. Jos massan hienoainepitoisuus on optimitasoa korkeampi, turpoamisen lisääntyminen ja ominaispinnan kasvu kasvattaa massan vedenpidätyskykyä. Tällöin massan parantunut vedenpidätyskyky ylittää korkeamman vakuumin tuoman edun ja vedenpoisto vähenee.

## **5 RETENTION JA VEDENPOISTON MITTAAMINEN LABORATORIOSSA**

Koeajot paperikoneella ovat luotettavin menetelmä märän pään kemian tutkimiseen, mutta ne ovat erittäin kalliita toteuttaa. On olemassa tarve laboratoriolaitteille, joilla vedenpoistoa, retentiota ja niihin liittyviä asioita voidaan tutkia. Ongelmana on paperikoneen märän pään toimintojen ja olosuhteiden monimutkaisuus, jota yksinkertaisen ja luotettavan laboratoriolaitteen tulisi simuloida. Esimerkiksi



paperikoneella esiintyvää turbulenssia on mahdotonta täysin simuloida laboratorio-laitteella, koska turbulenssi vaihtelee paperikoneesta toiseen ja pisteestä toiseen paperikoneella /39/.

Vedenpoistoa voidaan tarkastella sen mukaan, kuinka paljon tai kuinka nopeasti vettä saadaan poistettua massasta /20/. Poistettavissa olevan veden määrä liittyy kuidun ominaispintaan. Mitä suurempi kuidun ominaispinta, sitä vähemmän vettä saadaan poistettua viiraosalla, koska suotautumisvastus kasvaa ominaispinnan myötä. Nopeus, jolla vettä voidaan poistaa massasta, riippuu suurelta osin kuitumaton rakenteesta. Suotautuminen tapahtuu hitaammin tiiviistä kuin löyhärakenteisesta ja huokoisesta kuituverkostosta.

Vedenpoiston tutkimiseen käytettävät laitteet antavat mahdollisuuden massan vedenpoiston arviointiin paperikoneella, massan laadun arviointiin, retention määrittämiseen ja massan tai paperin ominaisuuksien määrittämiseen /9/. Laitteet voivat olla staattista tyyppiä, kuten arkkimuotit ja suotautumistesterit, tai niissä voi olla mahdollisuus turbulenssin aikaansaamiseksi. Joillakin laitteilla voidaan samanaikaisesti mitata vedenpoistoa ja tutkia arkin ominaisuuksia. Myös kolloidisen retention määrittäminen on mahdollista. Tutkittaessa vedenpoistoa laboratoriolaitteella on tärkeää ensin määritellä mitä vedenpoiston osa-aluetta kyseinen laboratoriolaitte simuloi. Tämän jälkeen voidaan yksittäisten kokeiden tuloksia käyttää apuna massan käyttäytymisen ennustamiseen paperikoneella.

Vedenpoiston tutkimiseen, ennustamiseen ja seuraamiseen on kehitetty huomattava määrä erilaisia laitteita. Suuri osa vedenpoistoon perehtyneistä tutkijoista on kehittänyt uuden laitteen tai modifioinut jotain olemassa olevaa laitetta. Tässä kappaleessa tutustutaan joihinkin mittalaitteisiin ja menetelmiin, joita on kehitetty vedenpoiston ja retention tutkimiseksi.

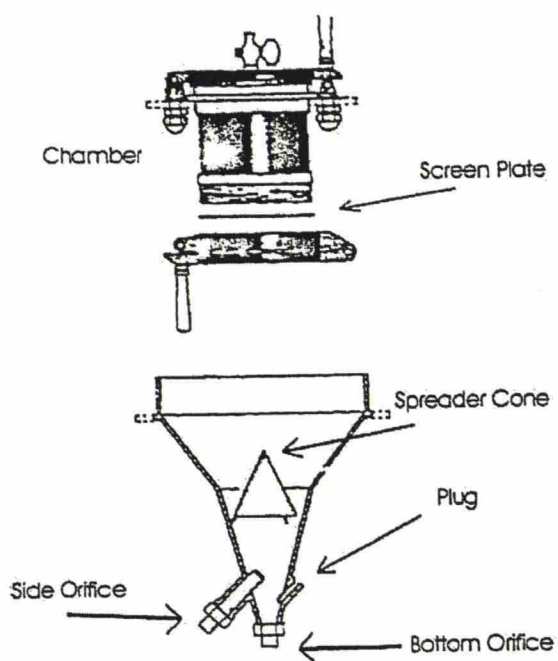
## **5.1 Painovoimavaikutteiset laitteet**

### **5.1.1 Freeness-testit**

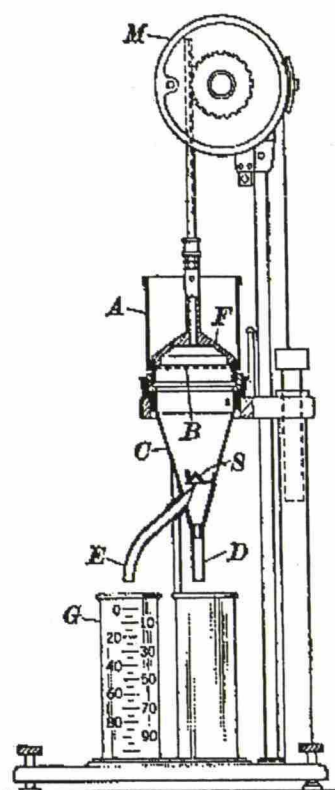
Freeness-termillä tarkoitetaan yleisesti veden suhteellista virtaavuutta kuitujen ja veden muodostamasta suspensiosta. Suurin osa freeness-testeistä perustuu kuitumaton muodostuessa suotautuneen veden määrän mittaamiseen. Menetelmät voivat myös perustua tietyn kokoisen massanäytteen suotautumisajan mittaamiseen. Yksinkertaisuutensa ansiosta freeness-testit ovat yleisimpiä käytössä olevia menetelmiä vedenpoiston määrittämiseksi /11/.

Vedenpoistoa mitataan yleisimmin standardimenetelmillä, kuten Schopper-Riegler- ja Canadian Standard Freeness-testeillä. Menetelmissä suotautuminen tapahtuu ilman turbulenssin vaikutusta massoista, joiden sakeudet ovat suhteellisen korkeita. CSF mittaa suoraan suotautumisnopeutta, ja SR-testi mittaa massan suotautumisvastusta /41,42/. Alunperin CSF-testi kehitettiin etupäässä mekaanisen massan testaukseen jauhatusasteen osalta, mutta sitä käytetään myös laajalti suotautumisnopeuden seuraamiseen kemiallisilla massoilla jauhatuksen yhteydessä. Testien tulosten perusteella jauhatusta ja massan koostumusta voidaan säätää parhaan vedenpoistutuloksen ja paperin laadun saavuttamiseksi paperikoneella.

CSF- ja SR-testeissä massanäyte kaadetaan säiliöön, jonka pohjalla on viira. Viira on peitetty, ettei vesi poistu ennen kokeen aloittamista. Kokeessa massan annetaan suotautua viiralle ja vesi kerätään talteen. CSF ilmoitetaan millilitroina poistunutta vettä. SR-kokeen tulos ilmoitetaan SR-lukuna. Kokeesta saatu lukema korjataan lämpötilan (CSF) ja sakeuden osalta, jolloin saadaan varsinainen tulos. Sekä SR- että CSF-testit ovat standardoituja. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty CSF- ja SR-testerit.



Kuva 3. Freeness-testeri.



Kuva 4. Schopper-Rieglerin laite.

Freeness-arvon on osoitettu olevan yhteydessä kuitujen pintaominaisuuksiin ja turpoamiseen /11/. Massan freeness-arvoon vaikuttavat koeolosuhteet, kuten massan esikäsitteleminen, lämpötila ja veden laatu.

Menetelmien suurimpia puutteita ovat seuraavat seikat:

- Paperikoneen vedenpoistoon ja ajettavuuteen vaikuttavat mekanismit ovat huomattavasti monimutkaisempia kuin mekanismit, jotka säätelevät vedenpoistoa freeness-testerissä. Testit perustuvat vedenpoistoon painovoiman vaikutuksesta eikä leikkausvoimia esiinny. Menetelmät eivät ota huomioon kuitumaton kokoonpuristumista viiralla, eivätkä anna mitään tietoa imulaatikoiden vaikutuksesta vedenpoistoon /11,41,42/.
- Massan käsittely, joka johtaa suuren hienoainemäärän muodostumiseen, voi aiheuttaa tavallisuudesta poikkeavaan freeness-tason nousun. Seurauksena testien käytettävyys paperikoneen vedenpoiston arvioinnissa heikkenee /11,42/.

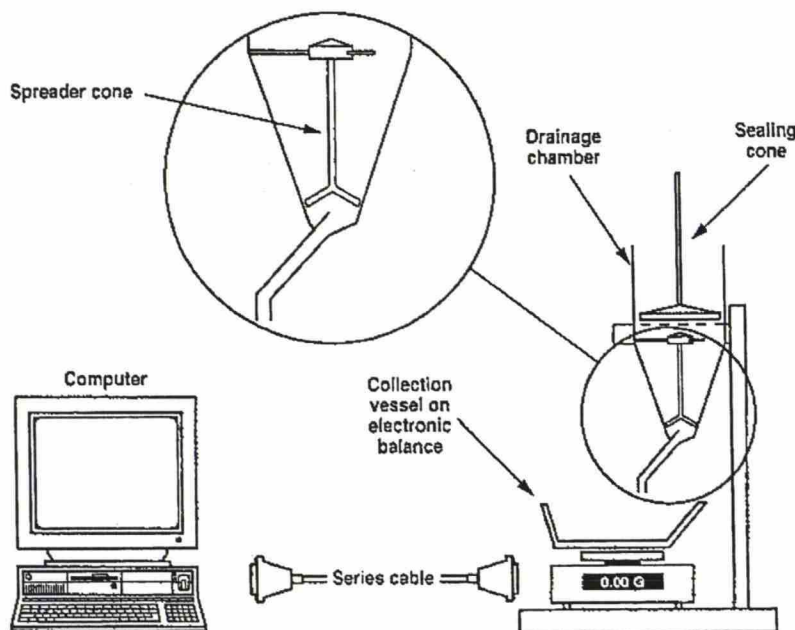
Freeness-arvot eivät välttämättä korreloi massan suotautumiskäyttäytymisen kanssa paperikoneella. Kaksi saman freeness-tason massaa voivat käyttäytyä täysin erilailla paperikoneella. Esimerkiksi mekaaninen massa ja pitkälle jauhettu kemiallinen massa voivat antaa SR-testissä saman arvon, vaikka veden poistaminen paperikoneella on vaikeampaa kemiallisesta massasta /42/. Ongelman ratkaisemiseksi Sampson ja Kropholler kehittivät muunnellun SR-testin.

### 5.1.2 Sampsonin ja Krophollerin modifioitu SR-testi

Sampsonin ja Krophollerin /43/ menetelmässä mitattiin SR-testeriä muistuttavasta laitteesta saadun suodoksen määrä elektronisen vaa'an avulla. Erona standardoituun SR-testiin on, että kaikki suodos tulee laitteen ala-aukon kautta ulos. Tiedon keräämiseksi systeemiin oli kytketty tietokone. Vaa'alle kerääntyneen veden massa mitattiin noin puolen sekunnin välein. Piirtämällä suotautuvan veden massa ajan funktiona saatiin vedenpoiston eri vaiheita esittävä kuvaaja, joka kuvaa vedenpoistoa viirapöydältä vesirajaan saakka. Kokeiden perusteella laitteella on saatu olennaisia



tietoa vedenpoistosta, ja sitä voidaan käyttää massojen, viirojen ja lajittimien luokitteluun. Laite on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Suotautumistesteri /43/.

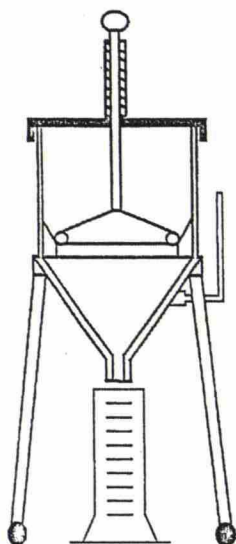
Laitteella saadaan tietoa laajemmalla alueella CSF- ja SR-testeihin verrattuna. Testiä voidaan käyttää erilaisten viirojen vedenpoistopotentiaalın arvioimiseen laboratoriossa /43/. Laitteella saatujen tulosten perusteella sitä voitaisiin käyttää lisäksi lajittelun ja jauhatuksen hienosäätöön.

### 5.1.3 Modified Schopper-Riegler (MSR)

MSR kehitettiin, jotta retention ja vedenpoiston lisäksi voitaisiin tutkia retentio- ja vedenpoistokemikaaleja laboratoriossa kannettavalla laitteistolla /41/. Laitetta voidaan käyttää apuna selvitetessä optimaalisia annostelupaikkoja retentio- ja vedenpoistokemikaaleille.

MSR on hyvin samankaltainen kuin SR-laite. Koe aloitetaan vapauttamalla mäntä, joka jousen avulla nousee ylöspäin koeastiassa tietyllä nopeudella aiheuttaen männän päässä olevan lavan välityksellä massaan syöksyvaikutuksen /41/. Erona SR-laitteeseen on, että sivun ylijuoksuputki on yläasennossa, jolloin suodos virtaa kokonaan pohja-aukon

kautta ulos. Suodos kerätään laitteen alla olevaan astiaan. Suodoksesta voidaan mitata vedenpoistoon kuluneen ajan lisäksi kiintoaineen määrä, joka ei jää kuitumattoon. Suodoksesta voidaan määrittää mm. varaustila, sameus, jäännöslimapitoisuus, tärkkelyksen määrä ja COD (kemiallinen hapenkulutus). Kuvassa 6 on esitetty MSR-laitte.



*Kuva 6. Modifioitu Schopper-Riegler /41/*

#### **5.1.4 Suotautumisaika**

Suotautumisaika on standardoitu menetelmä (Tappi Standard T221). Menetelmässä mitataan standardoitua arkkimuottia käyttäen aika, joka kuluu 1,2 grammaa painavan arkin muodostumiseen. Suotautumisaika riippuu voimakkaasti mittauksen olosuhteista, kuten suotautumisen aiheuttamasta paine-erosta, kuitumaton tiheydestä viiralla ja kuidun ominaisuuksista, kuten kuidun pituudesta, taipuisuudesta ja turpoamisasteesta /44/.

#### **5.1.5 Vakionopeus- ja vakiopainemittalaitteet**

Ingmanson /45,46/ on tutkinut paljon vedenpoistoon liittyviä ilmiöitä, kuten suotautumisvastusta ja siihen vaikuttavia kuidun ominaisuuksia, erilaisten laitteiden avulla. Tutkimukset tehtiin vakioaineessa ja vakionopeudessa ilman turbulenssin

vaikutusta. Ingmansonin tutkimuksia on käytetty perustana monille massan vedenpoiston testausmenetelmille.

Andrews ja White /47/ totesivat Ingmansonin tulosten olevan sopimattomia nopeasti suotautuville kemiallisille massoille ja kehittivät suotautumistesterin, jossa nopea vedenpoisto tapahtuu vakionopeudella. Kokeessa mitattiin kuitumaton yli vaikuttava paine-ero. Tavoitteena oli saada lisätietoa veden virtauksesta kuitumattojen läpi. Kokeissa käytetty massa sisälsi ainoastaan kuituja ilman hienoaainetta eikä tutkimuksia jatkettu pidemmälle.

Vakionopeudella toimiva laite on myös Nisserin /48/ suotautumistesteri. Kokeessa mitataan kuitumaton kuiva-ainepitoisuutta, joka aiheuttaa tietyn paine-eron kuitumaton ja viiran läpi suotautumisnopeuden ollessa vakio tietyssä lämpötilassa tietyn ajan kuluessa. Saatua tulosta kutsutaan kuitumaton avoimuudeksi ja se ilmoitetaan yksikössä  $\text{g/m}^2$ .

Wahlström ja O'Blenes /49/ tutkivat vedenpoistoa erilaisilla massoilla sakeuden ja suotautumisnopeuden ollessa samaa suuruusluokkaa kuin paperikoneella. Edeltävät tutkimukset oli tehty alhaisemmassa sakeudessa, ja niissä oli ollut ongelmia flokkautumisen ja inertiaivaikutusten kanssa. Tutkimusta varten suunniteltiin laite, jossa vedenpoisto tapahtuu paine-eron ollessa vakio. Laitetta on käytetty tutkittaessa erilaisten massojen, jauhatuksen, paine-eron, neliömassan, flokkautumisen, sakeuden ja massan lämpötilan vaikutusta vedenpoistoon. Laitteella tehtyjen kokeiden tuloksia on vaikea soveltaa olosuhteisiin, jossa kuitumaton rikkoontuminen tapahtuu ja hienoaineen kulkeutumiseen vaikuttaa erilaisia tekijöitä.

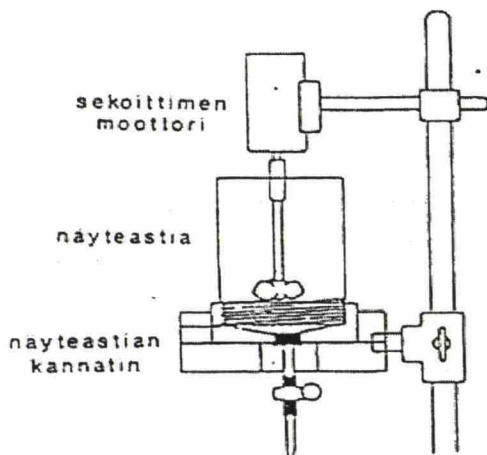
Sekä vakiopaine- että vakionopeustestereiden käytön tarkoituksena oli perustavaa laatua olevan tiedon saaminen vedenpoistosta. Paperikoneella tapahtuvan vedenpoiston arviointiin ne olivat kuitenkin hyvin rajoittuneita /11/.



### 5.1.6 Dynamic Drainage Jar (DDJ)

DDJ on alunperin kehitetty initiaalivedenpoiston tutkimiseen, mutta sen pääasialliseksi käyttökohteeksi on muodostunut retentioaineiden testaus ja retention tutkiminen /50/. DDJ kehitettiin, jotta turbulenssin vaikutus suotautumisessa voitaisiin ottaa huomioon.

Kokeessa massanäyte laitetaan näyteastiaan ja kierrosluvun perusteella säädetään sopiva turbulenssitaso. Sekoitusaika pidetään vakiona, ja tietyn ajan kuluessa avataan pohjaventtiili, jolloin suodosta voidaan ottaa talteen. Suodosta otetaan talteen tietty aika (30 s) tai tietty määrä (100 ml). Kiintoaine-, kuitu- ja täyteaineretentiot voidaan laskea, kun tiedetään massanäytteen kiinto- ja täyteainepitoisuudet sekä suodoksen tarkka määrä. Laitteen rakenne on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Dynamic Drainage Jar /50/.

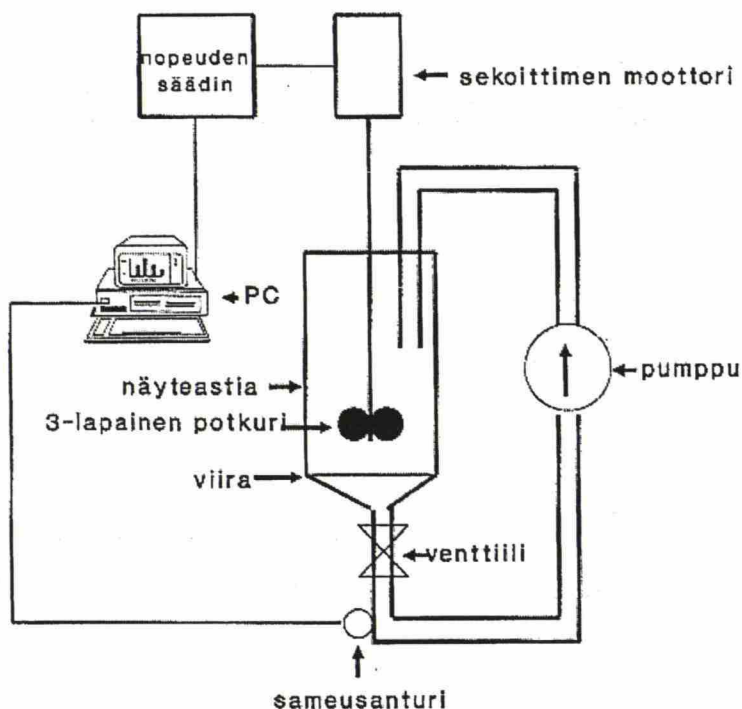
Sekoituksen avulla DDJ:ssa estetään kuitumaton muodostuminen viiralle. DDJ mittaa lähinnä kolloidisten voimien vaikutusta retentioon, eikä se ota huomioon mekaanisen retention vaikutusta suotautumisvaiheessa /6/. DDJ:lla saadaan kvalitatiivisia tuloksia vedenpoistosta ja retentiosta turbulenteissa olosuhteissa, mutta kvantitatiivista tietoa sillä on vaikea saada /36/. Myöskään leikkausvoimien ja turbulenssin tasoa ei voida kvantitatiivisesti mitata.

DDJ on yksinkertainen ja helppokäyttöinen laite. Laitteesta onkin tehty monenlaisia modifikaatioita. Useissa DDJ:n modifikaatioissa kuitumatto muodostuu viiralle, koska

monien tutkijoiden mielestä kuitumaton muodostuminen tulisi ottaa huomioon kokeissa /6/.

### 5.1.7 Retention Process Analyser (RPA)

Saharinen /7/ modifioi DDJ-laitetta siten, että retentiota voidaan mitata ajan funktiona. Leikkausvoimat saadaan aikaan sekoittimen avulla. Retention mittausta perustuu sameuden mittaamiseen viiran läpi sameusmittarille kierrätettävän näytevirran välityksellä. Näytevirta palautetaan mittauksen jälkeen takaisin prosessiin. Tietokone tallentaa ajan, sameuden, sekoittimen vääntömomentin ja pyörimisnopeuden sekä ohjaa sekoittimen pyörimisnopeutta. Menetelmällä mitataan retentio koko prosessin kestoalta, jolloin saadaan tarkempi kuva retentioaineen toiminnasta ja retention dynamiikasta kuin DDJ:llä. RPA:lla keskityttiin retention ja retentioaineiden tutkimiseen. Kaaviokuva RPA:sta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. RPA:n rakenne /7/.

## **5.2 Vakuumivaikutteiset laitteet**

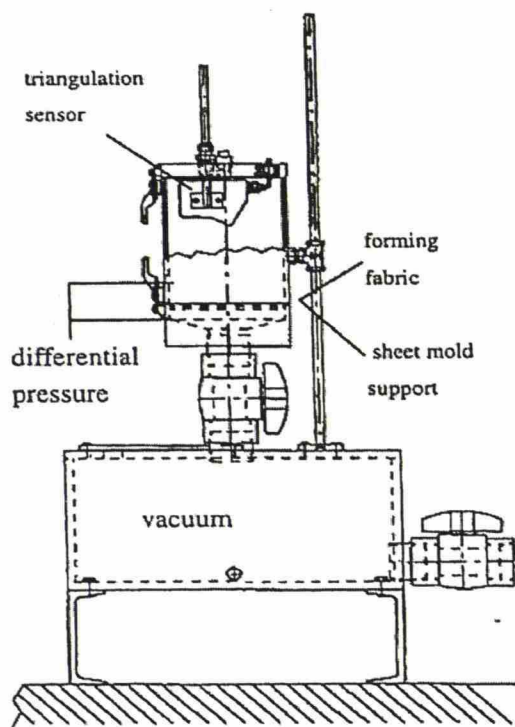
### **5.2.1 Suotautumisnopeuden mittaaminen ultraäänen ja laserin avulla**

Wei ja Ramarao /51/ suunnittelivat laitteen, joka perustuu suotautumisen seuraamiseen ultraäänen avulla. Tarkoituksena oli kehittää laite, joka mittaa suotautumisnopeuden muutoksia tarkasti ja johon on liitetty tiedonkeräysjärjestelmä. Laitteessa on näyteastia, jonka yläpuolella on ultraäänitunnistin. Näyteastian pohjalla on viira. Viiran alla on venttiili ja säiliö, jonka painetta voidaan säätää. Suotautumisen aikana massasuspension korkeus näyteastiassa mitataan ultraäänen avulla 0,1 cm tarkkuudella 10 millisekunnin välein. Suotautumisnopeus voidaan määrittää tarkasti, koska suspension korkeuden mittaus on käytännössä lähes jatkuva.

Kokeiden perusteella laitetta voidaan käyttää hyvin tarkkoihin suotautumisnopeuden mittauksiin /51/. Tutkimuksen yhteydessä kehitetyn matemaattisen mallin ja kokeiden perusteella saatiin selville, että ominaissuotautumisvastukseen vaikuttaa käytetyn paine-eron lisäksi kuitumaton kokoonpuristuksen historia.

Suotautumisnopeutta mittaava laite on myös Wildfong et al. /52,53/ kehittämä jatkuvatoiminen suotautumistesteri, Rapid Drainage Tester, joka on esitetty kuvassa 9. Kokeessa massa suotautuu vakiopaineessa. Laite kerää tietoa nopeudella, joka mahdollistaa nopean vedenpoiston tutkimisen myös kuitumaton ollessa hyvin ohut. Laitteessa koeastian yläpuolella on mittaussensori ja pohjalla on viira. Kuitumattoon vaikuttava paine saadaan aikaan vakuumpumpulla. Laitteella mitataan lasersäteen avulla näytteen pinnankorkeutta koeastiassa, ja differentiaalipainelähetin mittaa paine-eron koeastian ja viiran alapuolisen kammion välillä. Tuloksena saadaan kolme vektoria, jotka kuvaavat aikaa, suotautuneen nesteen tilavuutta ja paine-eroa viiran ja kuitumaton yli.

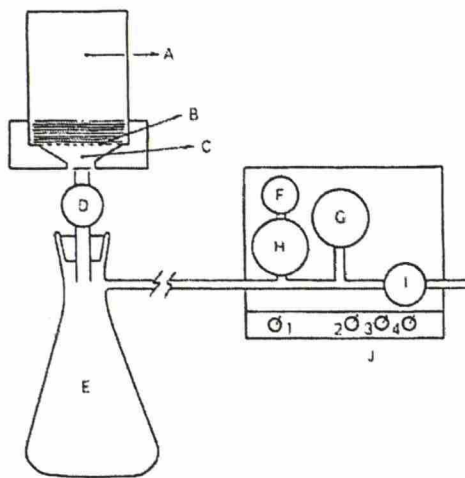




Kuva 9. Rapid Drainage Tester /52/.

### 5.2.2 Water Release Analyzer (WRA)

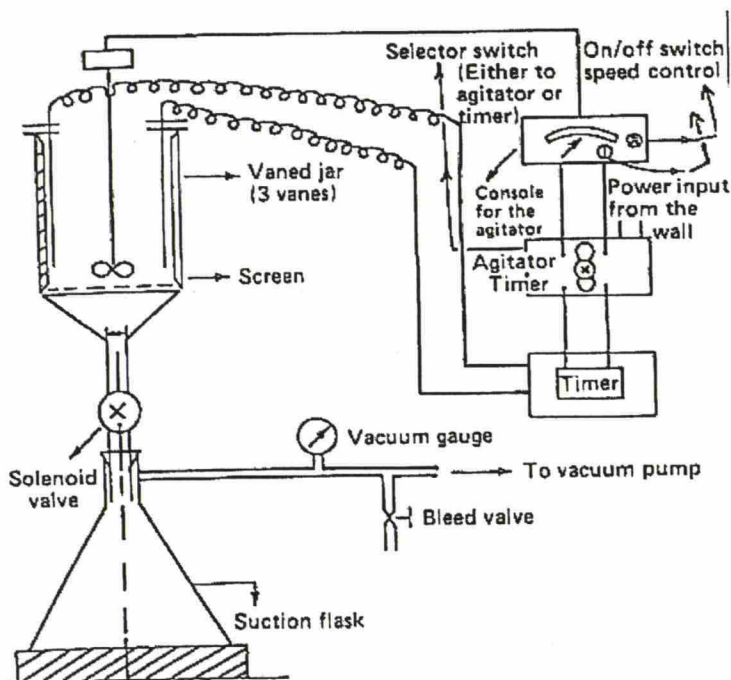
Britt ja Unbehend /24/ tutkivat suotautumisvaiheen ja vakuuminvaiheen vedenpoistoa kahdella laitteella. Vakuuminvaihetta tarkasteltiin DDJ:n muunnelmalla, jonka tavoitteena oli mitata arkin kuiva-ainepitoisuutta kontrolloidun vakuumin vaikutuksen jälkeen. Laitteelle annettiin nimeksi Water Release Analyzer. Tutkimuksessa selvitettiin massatyypin, hienoainepitoisuuden ja kemikaalien vaikutusta vedenpoiston tehokkuuteen. WRA:ssa märkä kuitumatto muodostuu sihtilevylle ja vakuumi vaikuttaa kuitumattoon tietyn ajan. Lopuksi kuitumaton kuiva-ainepitoisuus määritetään. Tulokset esitetään kuiva-ainepitoisuuden muutoksena ajan suhteen. Laite on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Water Release Analyzer /24/.

Laitteella saatujen tulosten perusteella tyhjövedenpoistoon vaikuttaa suuresti näytteen neliöpaino /24/. Testit on tehtävä näytteillä, joiden neliöpaino on vakio.

Springer et al. /26/ modifioivat WRA-laitetta tutkiakseen kemikaalien vaikutusta vedenpoistoon ja retentioon. Tarkoituksena oli, että muodostuva kuitumatto olisi pääasiallinen vedenpoiston vastus. Laitteessa sihtilevy on korvattu paperikoneen viiralla. Näyteastiassa on säädettävä sekoitin ja kaksi elektrodia pinnankorkeuden mittaamiseksi. Laite on esitetty kuvassa 11.

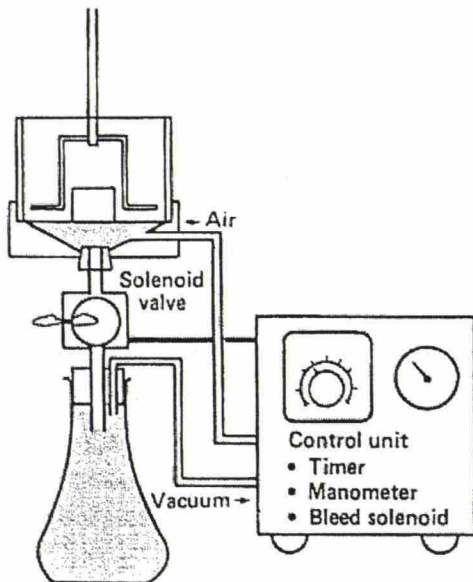


Kuva 11. Drainage, vacuum response and retention tester /26/.

### 5.2.3 Modified Dynamic Drainage Jar

Britt et al. /40/ tekivät myös toisen muunnelman DDJ:stä. Laitteella oli tarkoitus simuloida vedenpoistoa suotautumisvaiheessa sakeuden, tilavuuden, neliöpainon, ajan, vakuumin ja turbulenssin ollessa muuttujina. Menetelmässä mitataan massan sakeuden kohoaminen tarkasti mitatun ajanjakson (3-12s) kuluessa, kun edellä mainittuja muuttujia kontrolloidaan. Tarkoitus oli, että testiolosuhteet valittaisiin tietylle paperikoneelle sopiviksi haluttaessa ratkaista ongelma kyseisellä koneella. Laitteella voidaan vertailla eri massanäytteiden vedenpoistoa. Muuttujia voidaan säätää laajalla alueella, jolloin laitteistolla voidaan simuloida erilaisten paperikoneiden olosuhteita.

Laitteessa viiran alapuolella on kammio, jonka kautta näytteeseen saadaan vaikuttamaan vakuumi /40/. Kokeen alkaminen ja päättymisen saadaan aikaan paineen ja vakuumin avulla. Näyte on kontrolloidun sekoituksen alaisena kokeen aikana. Suotautumisen aikana viiran läpi kulkeneen veden määrä ja muodostuneen kuitumaton kuiva-ainepitoisuus määritetään. Tulokset ilmoitetaan kuiva-ainepitoisuutena, joka on saavutettu tietyn ajan jälkeen. Tulokset esitetään vakuumin, lisäainepitoisuuden ja viiran koon funktiona. Laite on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Modified Dynamic Drainage Jar /40/.

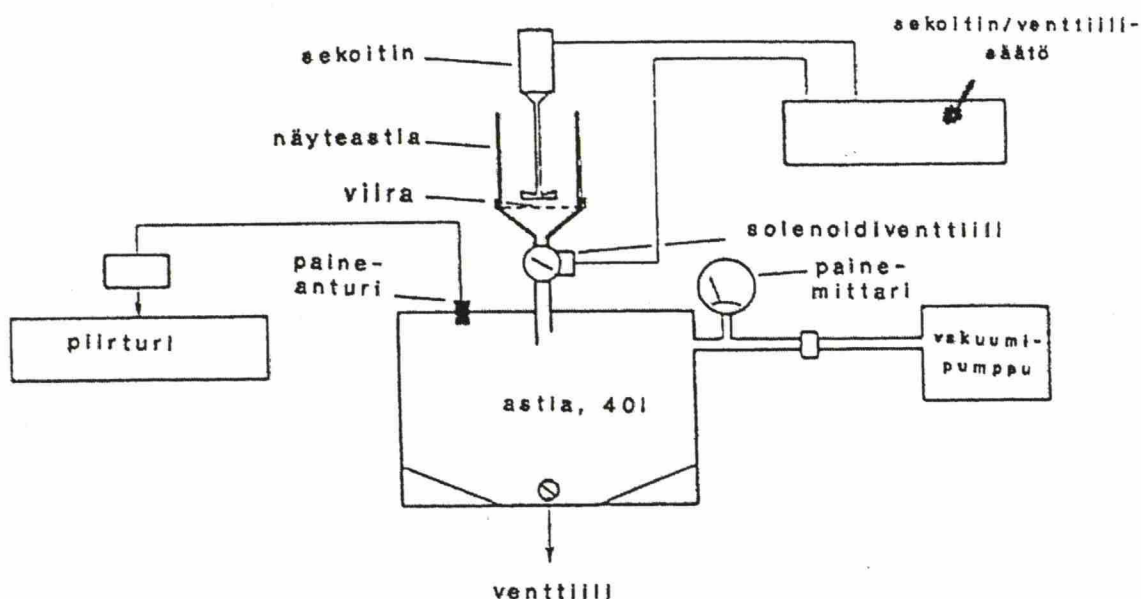


Myöhemmin Britt ja Unbehend ovat todenneet sekoituksen synnyttämän turbulenssin kokeen aikana aiheuttavan enemmän ongelmia kuin mitä se ratkaisee /20/. Sekoituksesta luovuttiin ja ajanottoa tarkennettiin, jolloin suotautuminen voitiin aloittaa ja lopettaa tarkasti.

#### **5.2.4 Retention and Drainage Tester (RDT)**

Abson et al. /54/ kehittivät RDT-laitteen, jossa DDJ-laitetta on muunnettu liittämällä siihen mahdollisuus sekoitettavan massan suotautumiseen vakuumiin alaisena. Menetelmän tavoitteena oli yhdistää turbulenssin vaikutus ja kuitumaton muodostuminen sekä kohdistaa kuitumattoon kokoonpuristavia voimia vedenpoiston aikana ja sen jälkeen. Laitteella oli tarkoitus mitata sekä vedenpoistoa että retentiota turbulenteissa olosuhteissa.

Laitteistossa on DDJ-laite ja siihen yhdistetty tankki, jonka paine on 3,75 kPa /54/. Erilaisten massojen vedenpoistoa voidaan arvioida suotautumisvaiheen paineen muutosten perusteella. Suotautumisen loppupisteessä paineet tasoittuvat. Retentio määritetään viiran läpi kulkeutuneen kiintoaineen perusteella. Laitteistolla simuloidaan massaan kohdistuvia leikkausvoimia sekoituksen kierroslukua muuttamalla ja rainanmuodostusta viiralla heikkenevässä turbulenssissä sekoituksen lakattua. Laitteisto on esitetty kuvassa 13.

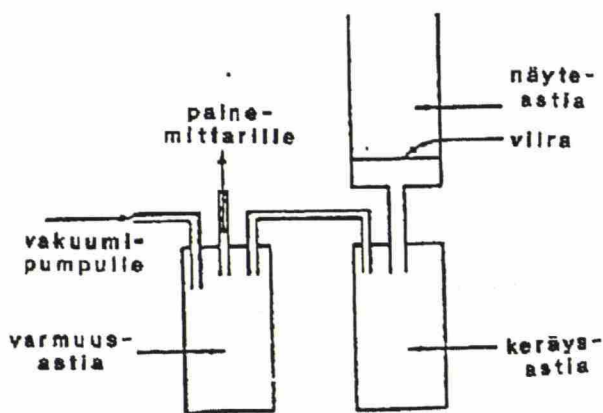


Kuva 13. Retention and Drainage Tester /54/.

Menetelmällä voidaan retention ja vedenpoiston lisäksi tutkia kuitumaton käyttäytymistä initiaalivedenpoiston jälkeen ja saada tietoa paperin ominaisuuksista, kuten formaatiosta, optisista ominaisuuksista, tuhkaretentiosta ja liimauksesta /54/. RDT:llä voidaan vertailla eri lisäaineita ja niiden vaikutusta suotautumiseen, hienoaineretentioon, vedenpoistoon märästä rainasta, rainanmuodostukseen ja liimaretentioon. Laitteella voidaan myös tutkia ennen vedenpoistoa vaikuttavan turbulenssin vaikutusta lisäaineiden toimintaan.

### 5.2.5 G/W Drainage Analysis System

Gess /55/ kehitti G/W-systeemin, jossa mitataan vakuumin muutosta suotautumisajan funktiona. Laitteen perustana on DDJ, ja siinä on jatkettu Absonin /54/ tutkimuksia. Laitteessa mitataan vakuumitasoa arkin muodostuessa viiralle. G/W-laitteessa on näyteastia, jonka pohjalla olevalle viiralle massanäyte suotautuu. Suodos kerätään näyteastian alla olevaan keräysastiaan. Suotautumisen aikana näytteeseen vaikuttaa pulssiton vakuumi. Kokeen tuloksista piirretään kuvaaja vakuumin muutoksesta ajan funktiona. Kuvaajan perusteella identifioitiin neljä eri osaa, joiden todettiin korreloivan paperikoneen vedenpoiston kanssa. G/W-systeemi on esitetty kuvassa 14.



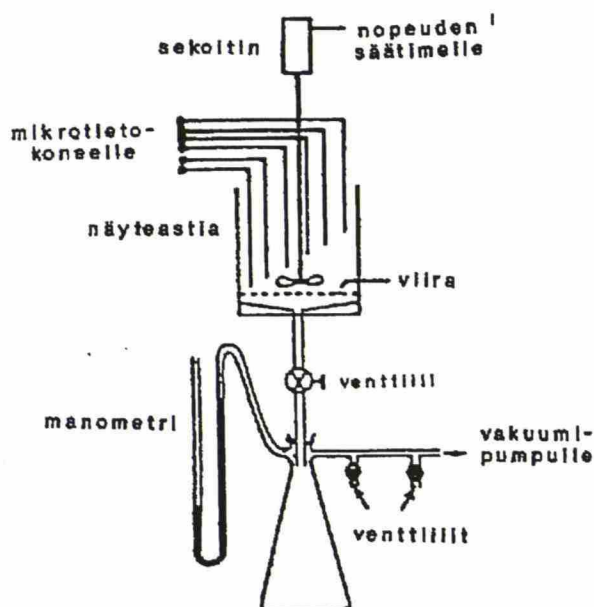
Kuva 14. G/W drainage analysis system /7/.

Yhdistämällä G/W-vedenpoistokuvaajaan muita tietoja, kuten kuitumaton kuiva-ainepitoisuus ja suodoksen sameus, voidaan paperikoneen vedenpoisto-ominaisuuksista arvioida /55/. Turbulenssin puuttuminen on huomattava epäkohta, joka haittaa tulosten sovellettavuutta.

### 5.2.6 Drainage, Vacuum and Retention Tester (DVRT)

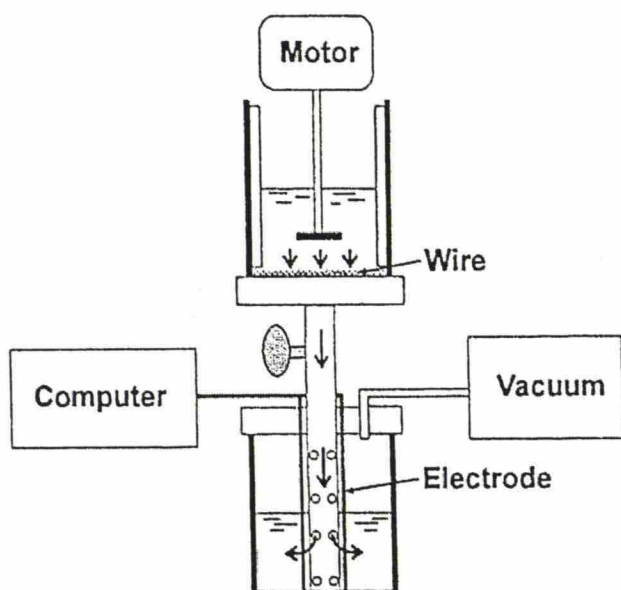
Springer et al. /56/ modifioivat DDJ-laitetta mitataksaan massan retentio- ja vedenpoisto-ominaisuuksia. Laitteistoa käytettiin myös mitattaessa ominaissuotautumisvastusta, joka on kuitumaton fysikaalisten ominaisuuksien funktio. Ominais-suotautumisvastus on parametri, joka kuvaa suotautumista määrän kuitumaton läpi /36/. DVRT:ssä kuitumatto muodostuu viiralle dynaamisissa olosuhteissa vakuumin vaikuttaessa. Laitteessa on kuusi elektrodia, joiden avulla mitataan suotautumisaika standardikokoisesta massanäytteestä. Laitteistoon on kytketty tietokone, jonka avulla suotautumisaikaa mitataan ja kontrolloidaan. Suotautuneen veden määrä ajan funktiona muutetaan yhtälön avulla ominaissuotautumisvastukseksi. Laitteisto on esitetty kuvassa 15.





Kuva 15. Drainage, Vacuum and Retention Tester /56/.

Genco et al. /36/ suunnittelivat DVRT-laitteen pohjalta uuden laitteen, jossa suotautuminen tapahtuu vakuumin vaikuttaessa. Menetelmässä muodostuneen suodoksen määrä tallennetaan muistiin ajan funktiona suodoksen sähkönjohtokykyä mittaamalla. Suodoksen määrän muutos aiheuttaa muutoksen suodoksen resistanssiin, joka näkyy elektrodien antamassa mittaustuloksessa. Tulosten perusteella vedenpoist nopeus tietyllä ajanhetkellä voidaan laskea. Laitteella saadaan nopeasti määritettyä massan ominaissuotautumisvastus. Laitteessa voidaan käyttää perälaatikkomassaa ja erilaisista paikoista paperikoneella otettua sakeaa massaa. Vaikka laitteella saadaan tietoa vedenpoistosta lyhyillä aikaväleillä, kokeessa muodostuva paksu kuitumatto ja hidas vedenpoisto rajoittavat tulosten sovellettavuutta /53/. Laite on esitetty kuvassa 16.

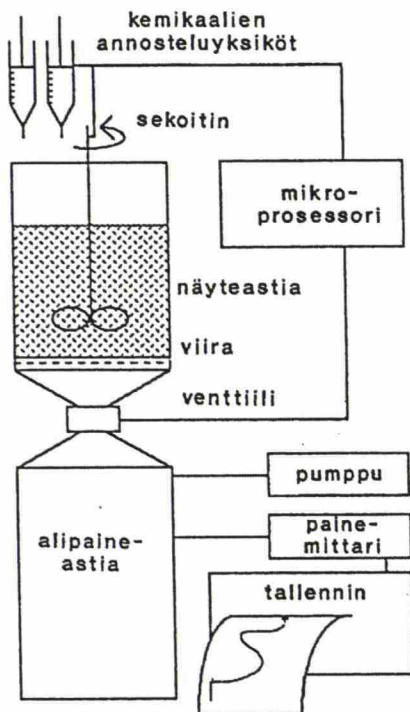


Kuva 16. Genco et al. suotautumistesteri /36/.

### 5.2.7 Dynamic Drainage Analyser (DDA)

DDA on DDJ:n modifikaatio, jolla voidaan mitata vakuumin vastetta vedenpoistoon initiaalivaiheessa /6/. DDA on yksinkertainen ja luotettava laboratoriolaite, jolla voidaan tutkia vedenpoistoa dynaamisissa olosuhteissa kiintoainepitoisuuden ollessa suhteellisen alhainen. Suurimpana erona DDJ-laitteeseen on, että kemikaalien annosteluaikojä, sekoitusaikaa ja sekoitusnopeutta kontrolloidaan tietokoneen avulla. Kuitujen ja kemikaalien kontaktiaikaa voidaan säädellä erilaisissa turbulenssiolosuhteissa /6/.

Laitteessa on näyteastia, jonka pohjalla on viira. Viiran alapuolella on venttiili ja alipaineastia. Venttiiliä käyttäen saadaan aikaan nopea ja kontrolloitu suotautuminen. Laitteessa on kahdesta neljään kemikaaliannostelijaa. Sekoittimen pyörimisnopeutta voidaan säädellä. Vakuumi voidaan säätää nollasta 60 kPa:iin /6/. Vakuumi vaikuttaa kuitenkin vain initiaalivedenpoiston aikana. Kun vapaa vesi on poistunut kuitumatosta vakuumi häviää ilman alkaessa virrata kuitumaton läpi. Suotautumisnopeus on aika kokeen aloituksesta siihen, kun ilma alkaa virrata arkin läpi /57/. Vakuumitaso mitataan ajan funktiona, ja suotautumisnopeus määritetään aika-vakuumi-kuvaajan perusteella. DDA:n rakenne on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. DDA:n rakenne /6/.

DDA-laitetta käyttämällä voidaan /6,57/:

- mitata samasta näytteestä retentio, suotautumisnopeus, rainan kuiva-ainepitoisuus, viiraveden sameus ja arkin huokoisuus
- arvioida kemikaalien vaikutusta konsentraation ja lisäyspisteen osalta
- tarkastella leikkausvoimien vaikutusta suotautumiseen sekoittimen nopeutta muuttamalla
- arvioida erilaisten viirojen toimintaa

DDA:lla voidaan mitata arkin ominaisuuksista vain huokoisuutta. Muodostuvan arkin laatu ei mahdollista lujouden tai formaation mittausta, mikä johtuu pääasiassa sekoittimen aiheuttamasta häiriöstä /57/. Vedenpoisto- ja retentiokemikaalit vaikuttavat kuitenkin formaatioon, ja olisi hyödyllistä saada samalla tietoa sekä vedenpoistosta että arkin formaatiosta. Arkki voidaan kuitenkin märkäpuristaa, ja sitä voidaan edelleen analysoida mm. formaation epätasaisuuden, vaaleuden ja täyteainepitoisuuden osalta. Hienoaine ja täyteaineretentio voidaan määrittää tavallisilla menetelmillä



Arkinmuodostuksessa DDA:lla syntyvä kuitumatto parantaa retentiota toimien suodattimena. Korkeamman retention seurauksena syntyvän arkin tiheys on suurempi ja vedenläpäisevyys alhaisempi kuin paperikoneella /7/.

### **5.3 Sentrifugointimenetelmät**

WRV-tyyppisissä menetelmissä tietynlainen massanäyte sentrifugoidaan tietyissä olosuhteissa. Massaan vaikuttaa suhteellisen suuria kokoonpuristavia voimia sentrifugoinnin aikana. Joissakin menetelmissä käytetään lisäksi painoja massanäytteen päällä sentrifugoinnin aikana. WRV-menetelmät soveltuvatkin lähinnä paperikoneen puristinosan ilmiöiden kuvaamiseen.

#### **5.3.1 Water Retention Value (WRV)**

WRV on määritelmän mukaan se määrä vettä, jonka kuitumassa sisältää standardoidun sentrifugoinnin jälkeen /58/. Menetelmää käytetään massan vedenpoistokäyttäytymisen selvittämiseksi paperikoneen puristinosalla. Standardoitu menetelmä on tarkka ja yksinkertainen toteuttaa. WRV-testin on todettu korreloivan paperikoneen toiminnan kanssa monissa tapauksissa.

Abson /59/ on tarkastellut WRV-testiä ja toteaa standardoidun, korjaamattoman WRV-testin olevan tapauksesta riippuen käyttökelpoinen indeksi tietyn massan vedenpoiston vastuksen arvioimiseksi puristavien voimien vaikuttaessa, kuten paperikoneen puristinosalla.

LeBel et al. /60/ tutkivat massan WRV-arvoja sanomalehtipaperikoneella. WRV-testiä modifioitiin niin, että sentrifugoinnin jälkeen massan vesipitoisuus vastasi rainan vesipitoisuutta paperikoneella puristuksen jälkeen. Selvitysten perusteella ajettavuusindeksi, joka yhdistää rainan märkälujuusominaisuudet ja massan WRV-arvon, on voimakkaasti yhteydessä paperikoneen toimintaan. Heidän mukaansa indeksi antaa mahdollisuudet yksinkertaisten laboratoriokokeiden perusteella ennakoida miten tietty massa käyttäytyy paperikoneella. Indeksillä uskotaan olevan käyttöä

paperinvalmistuksessa ylipäättään, vaikka tutkimus tehtiinkin sanomalehtipaperikoneella.

LeBel et al. /60/ toteavat WRV:n olevan hyödyllinen laboratoriomenetelmä massojen vedenpoistokäyttäytymisen selvittämiseksi paperikoneella. WRV antaa tietoa massan laadun vaikutuksesta paperikoneen toimintaan. Muiden olosuhteiden ollessa vakioina voidaan yksinkertaistaen todeta paperikonemassan vedenpoiston sentrifugoimalla olevan yhteydessä saman massan vedenpoistokäyttäytymiseen paperikoneella, kunhan sentrifugoinnin olosuhteet on valittu huolellisesti.

Massan WRV- ja freeness-arvot ovat riippumattomia toisistaan /58/. WRV ei siis ole yhteydessä massan suotautumisnopeuteen. Absonin /59/ mukaan näytteeseen sentrifugoinnin jälkeen jääneen veden ja näytekoon välillä on lineaarinen riippuvuus. WRV on luonteeltaan additiivinen /60/. Kun tiedetään massakomponenttien määrät ja niiden WRV-arvot, voidaan koko massan WRV-arvo laskea.

WRV-testistä on kehitetty erilaisia modifikaatioita, kuten Centrifugal Compression Value (CCV) /61/ ja Modified Water Retention Value (MWRV) /62/, joissa pyritään arvioimaan vedenpoistoa märkäpuristusvaiheessa.

### **5.3.2 Centrifugal Compression Value (CCV)**

Maloney ja Paulapuro /61/ kehittivät menetelmän vedenpoiston tutkimiseksi märkäpuristuksessa. Muihin sentrifugointimenetelmiin verrattuna erona on, että CCV:ssä vettä puristetaan kuitujen soluseinistä asettamalla erisuuruisia painoja näytteen päälle sentrifugoinnin ajaksi. Testi mittaa massanäytteen mekaanisen vastustuksen kokoonpuristavien voimien vaikuttaessa.

Ahrens et al. /62/ mukaan CCV menetelmässä näyteastian pohjalla käytetty huopa saattaa aiheuttaa ongelmia jos sen huokoset eivät ole kyllin pieniä tai huopa tarpeeksi paksu vetääkseen puoleensa ja pitääkseen itsessään ylimäärää kuitujen välisestä

vedestä. On mahdollista, että näyte-huopa-rajapinnan alueella sentrifugoinnin aikana oleva vesi saattaa siirtyä takaisin näytteeseen kokeen lopussa.

### 5.3.3 Modified Water Retention Value (MWRV)

Ahrens et al. /62/ ovat kehittäneet WRV- ja CCV-testien perusteella MWRV-menetelmän. Ideaalitapauksessa testi määrittää ilman haihdutusta saavutettavissa olevan vedenpoiston maksimitason.

Uuden menetelmän lähtökohtina ja tavoitteina olivat seuraavat asiat /62/:

- Käytettävien näytteiden tulisi olla helposti valmistettavissa. Näytteiden neliöpainon tulisi olla tarkoituksenmukainen ja halutun suuruinen toisin kuin edeltävissä, painavia massanäytteitä vaativissa menetelmissä.
- Kokeen tulisi olla helppo suorittaa ja toistaa. Siinä tulisi olla mahdollisuus painojen käyttöön kokoonpuristavien voimien aikaansaamiseksi tarvittaessa.
- Menetelmän antamien tulosten tulisi kuvata sellaista kuituverkostoa, josta kuitujen välinen vesi on kokonaan poistettu. MWRV-testiä voitaisiin tällöin pitää verkoston ideaalisen vedenpoistopotentialin mittana.
- Seurauksena edellisestä kohdasta MWRV:n tulisi olla riippumaton sentrifugointivoiman suuruudesta ja sen ei tulisi olla herkkä näytteen painon ja sentrifugointiajan suhteen. Lisäksi tulokseen ei saisi vaikuttaa kokeen jälkeinen uudelleenkastumisilmiö.

Huokoisia tukilevyjä näytteen alla voidaan käyttää päällekkäin tarvittavan paksuuden aikaansaamiseksi /62/. Kun vesi poistuu sentrifugoinnin seurauksena tukilevyn yläosasta alaspäin, seurauksena syntyvä kapillaarinen imu näytteen ja tukilevyn rajapinnalla vetää vettä kuituverkostosta. Tasapainotilassa kuituverkoston kosteuspitoisuuden tulisi korreloida tukimateriaalin kapillaaripaineen kanssa. Tukimateriaalin alaosien vesipitoisuuden tulisi olla yläosan vesipitoisuutta suurempi ja yläosan tulisi olla kyllästämätön. Tässä tapauksessa näytteen uudelleenkastumista ei tapahtuisi sentrifugoinnin pysähtyessä.



Näytteen päällä voidaan käyttää painoja sentrifugoinnin aikana. Käytettäessä painoja asetetaan näytteen ja painon väliin huokoinen levy, jolloin ilma voi korvata näytteestä poistuvan veden. Näyteastian kansi estää veden haihtumisen kokeen aikana. Näytteen sentrifugoinnin jälkeen näyte punnitaan, kuivataan uunissa ja punnitaan uudelleen. MWRV lasketaan tulosten perusteella ja ilmaistaan yksikössä g vettä/g uunikuivaa massaa. Saatujen tulosten perusteella MWRV-tekniikalla voidaan käyttää ohuita käsiarkkinäytteitä verrattuna WRV- ja CCV-testeihin, joissa massanäytteet ovat suhteellisen paksuja /62/. MWRV-testissä näytteeseen jäävän veden määrä on pienempi kuin WRV-testissä. WRV-testissä kuitujen välinen vesi jää näytteeseen.

MWRV-testissä käytetyt lasiset suodatinlevyt kärsivät kulumisesta korkeimmalla painetasolla (700 psi) /62/. Jatkossa testissä ehdotettiin kokeiltavan pienihuokoisia metallisia suodatinlevyjä, jotka kestäisivät korkeaa painetta.

## **5.4 Pulseeraavat laitteet**

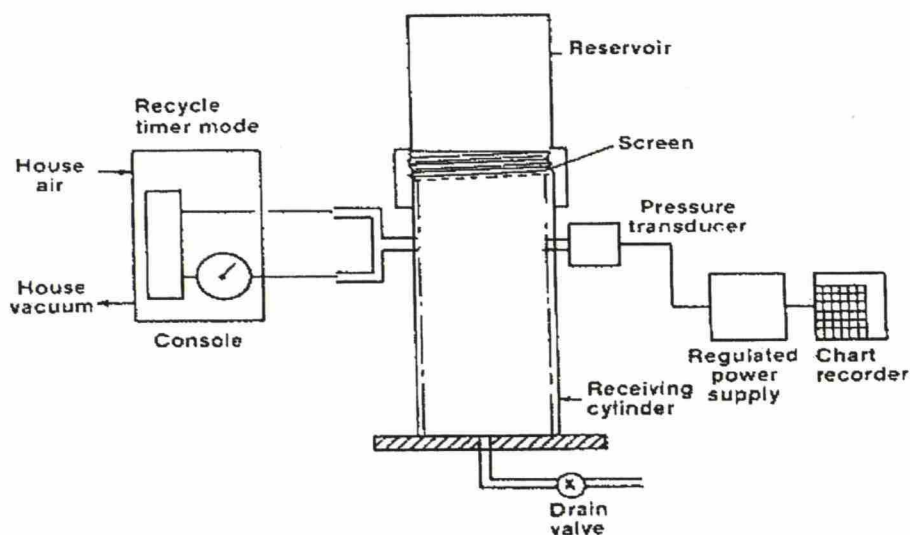
Imupulssien puuttuminen laboratoriolaitteista on johtanut tutkijoita kehittämään uusia laitteita, joissa massa kohdistetaan vaihtelevia ilma- ja vakuumpulsseja suotautumisen aikana.

### **5.4.1 Pulse Drainage Apparatus**

Britt et al. /14/ kehittämällä laitteella voidaan haluttaessa saada aikaan suotautumis- ja tiivistymisvaiheet vedenpoistossa. Painovoiman vaikutuksesta vedenpoisto tapahtuu suotautumismekanismeilla. Pulssien vaikutuksesta vedenpoisto tapahtuu sakeutumalla.

Laitteessa säädettävät vakuumi- ja painepulssit vuorottelevat massa suotautumisen aikana viiran alapuolella, jolloin vedenpoisto tapahtuu pääasiassa sakeutumismekanismeilla /14/. Painepulssi työntää ilmaa viiran ja näytteen läpi, jolloin mahdollisesti muodostunut kuitumatto hajoaa ja näyte sekoittuu perusteellisesti. Vedenpoiston edetessä painepulssit on lopetettava kuitumaton pysyvän hajottamisen estämiseksi. Testiä ei voida pysäyttää rainan ollessa tietyssä kuiva-ainepitoisuudessa.

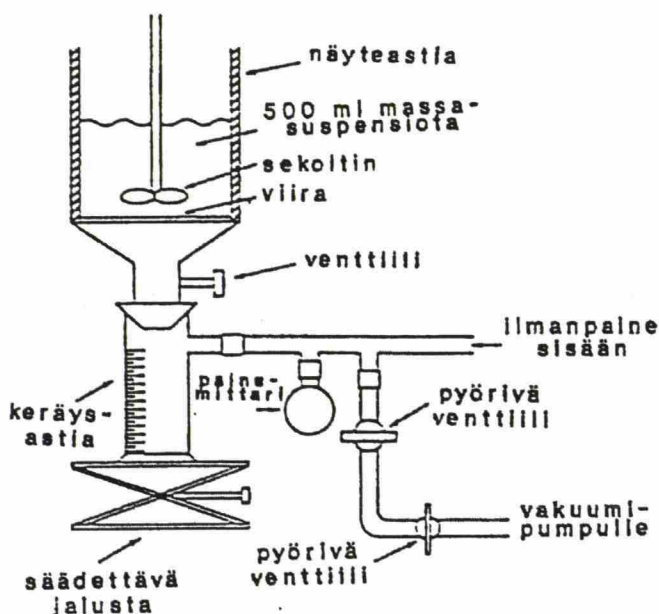
Useiden toistojen seurauksena voidaan kuitenkin saada vertailukelpoisia tuloksia tasaisesta vedenpoistosta (suotautumismekanismi) verrattuna pulsaation vaikutuksen alaiseen vedenpoistoon (sakeutumismekanismi). Laite on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Pulse Drainage Apparatus /14/.

#### 5.4.2 Dynamic Drainage Tester (DDT)

Alkuperäisessä DDT:ssä kuitumaton muodostuminen tapahtuu sekoituksen lakattua. Näyte saadaan suotautumaan nopeasti alipaineen avulla /16/. DDT-laitetta kehitettiin edelleen lisäämällä siihen mahdollisuus alipainepulssien tuottamiseksi suotautumisen aikana. Uudella versiolla voidaan tutkia säädettävien painepulssien vaikutusta retentioon ja vedenpoistoon. Laitteen painepulssit hajottavat muodostuneen kuitumaton kymmenen kertaa sekunnissa, kunnes tietty määrä suodosta on saatu kerättyä talteen. Painepulssien vaikutuksesta massan hienoaine- ja täyteaineretentio paperissa huononee, kuten nopeilla paperikoneillakin tapahtuu. Kuvassa 19 on esitetty DDT:n modifioitu versio.



Kuva 19. Pulssien aikaansaamiseksi modifioitu DDT /16/.

Modifioidulla DDT:llä tehdyn tutkimuksen mukaan polymeeristen retentioaineiden suhteellisten tehojen erot korostuivat vedenpoistossa painepulssien vaikutuksesta /16/. Painepulssien vaikutuksesta testi voi olla herkempi pienille eroille flokkien suhteellisissa lujuuksissa eri retentioaineita käytettäessä.

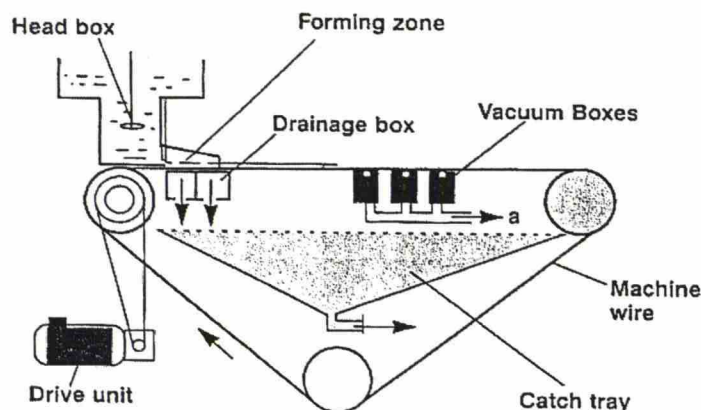
#### 5.4.3 Dynamic Drainage Simulator

Attwoodin ja Jopsonin /42/ kehittämällä laitteella oli tavoitteena päästä samoihin viipymäaikoihin kuin paperikoneen rainanmuodostusosalla. Tavoitteena oli myös selvittää jauhatuksen ja kemikaalien vaikutuksia vedenpoistoon ennen paperikonekoeajoja. Laitteella oli tarkoitus tutkia suotautumista perälaatikkosakeuksilla, ja sitä oli tarkoitus käyttää nopean suotautumisen tutkimiseksi.

Massa syötetään dispergointikammioon, josta massa siirtyy dispergoinnin jälkeen rainanmuodostusalueelle. Laitteen massasäiliö täytetään tietylle korkeudelle massalla, jonka sakeus tiedetään ja sekoitus aloitetaan. Kokeen alkaessa portti avataan ja viira vedetään tunnetulla nopeudella suotautumisalueen läpi. Kun tietyn pituinen raina on muodostunut, portti suljetaan ja suotautuneen veden määrä mitataan. Viiran nopeutta voidaan säätää, jolloin suotautuminen voi tapahtua 0,1-0,5 sekunnissa /42/.



Muodostuneesta arkista voidaan määrittää mm. kosteuspitoisuus, neliöpaino, hienoainejakauma ja formaatio. Talteen otetun veden perusteella saadaan tietoa hienoaineretentiosta. Laitteesta on tehty erilaisia versioita, joiden toimintatapa on samanlainen. Kuvan 20 versiota voidaan käyttää imulaatikoiden kanssa tai ilman.



Kuva 20. Linear Dynamic Drainage Simulator (jatkuva viira) /42/.

Dynamic Drainage Simulator -laitteella voidaan saada tietoa kuitujen morfologian vaikutuksesta suotautumiseen saman freeness-tason massoilla /42/. Myös kuitutyypin, kuidunpituuden ja fibrilloitumisasteen vaikutuksia suotautumiseen voidaan tutkia. Laitteen avulla voidaan tarkastella freeness-arvon vaikutusta suotautumiseen arkin neliöpainon ollessa vakio tai vaihtoehtoisesti freeness-arvon vaikutusta arkin painoon suotautumisnopeuden ollessa vakio.

Laitteella tehtyjen kokeiden perusteella todettiin vedenpoiston olevan kiinteässä yhteydessä paperin formaatioon ja siihen nopeuteen ja tasaisuuteen, jolla kuitususpensio suotautuu viiralle /42/.

#### 5.4.4 Turbulent Pulse Sheet Former (TPSF)

TPSF kehitettiin, jotta voitaisiin tutkia kannettavalla laitteella vaihtelevien ilma- ja vakuumpulssien vaikutusta massaan suotautumisen aikana /11/. Painepulssit ovat niin voimakkaita, että ne rikkovat muodostuneen kuitumaton. Laitteella mitataan suotautumisvastusta, joka määritellään tuloksista piirrettävän vakuumi-aika-kuvaajan alapuoliseksi pinta-alaksi. Kokeen loppupisteessä ilma alkaa virrata kuitumaton läpi.

TPSF:lla saadaan käsiarkkeja vedenpoiston ja retention seuraamisen lisäksi /63/. Käsiarkeista voidaan määrittää lujuusominaisuuksia, jolloin saadaan yhteys arkin lujuuden ja vedenpoisto-ominaisuuksien välille.

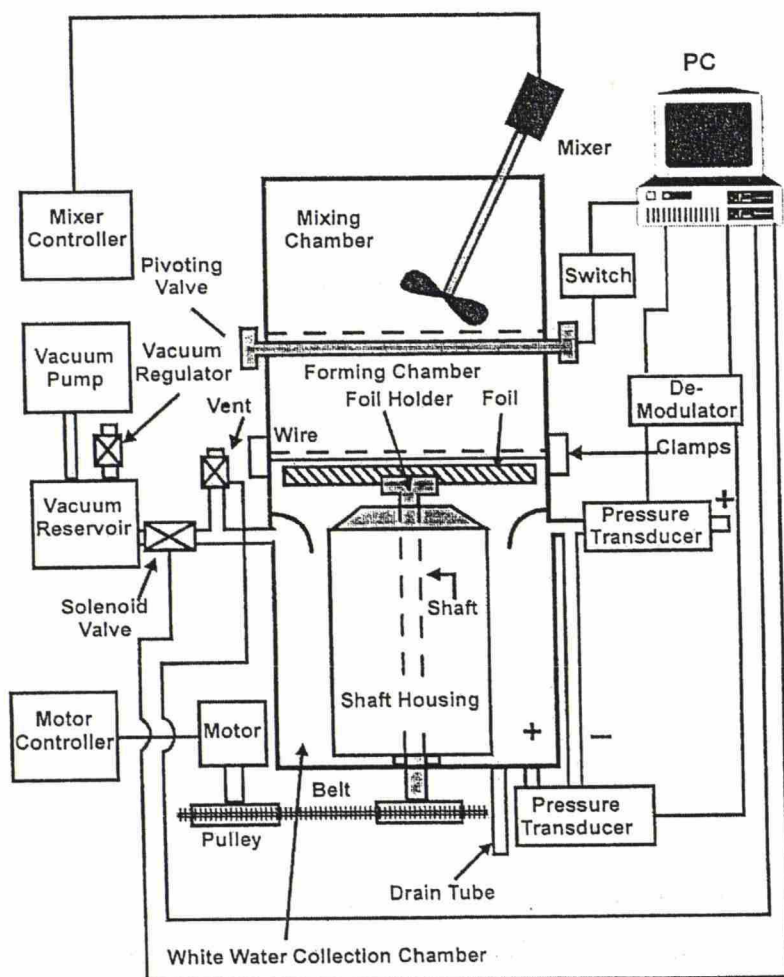
TPSF:lla voidaan selvittää märänpään kemikaalien vaikutusta vedenpoistoon. Laitteen avulla voidaan tarkastella vesikiertojen sulkemisen vaikutuksia ja kemikaalien toimintaa suljettujen vesikiertojen seurauksena /63/. Verrattaessa tuloksia avointa ja suljettua vesikiertoa edustavissa systeemeissä saadaan selville eroja kemikaalien toiminnassa.

Laitteessa on kaksiosainen näyteastia /63/. Osat, joiden välissä viira on, voidaan erottaa toisistaan kokeen lopussa arkin poistamiseksi. Turbulenssi aikaansaadaan mekaanisella sekoituksella ja ilmapulsseilla. Arkinmuodostuksen aikana massaan kohdistuvat painepulssit simuloivat paperikoneen imulaatikoita. Vakuumi- ja ilmapulssien tasoa ja vaikutusaikaa sekä sekoitusta voidaan säätää. Systeemiin kytketty tietokone tallentaa suotautumisen paineprofiilin, jonka perusteella vedenpoistoa voidaan arvioida.

#### **5.4.5 Pulsed Drainage Device (PDD)**

PDD on kehitetty vedenpoiston ja retention tutkimiseen. Viiran alla oleva pyörivä foili tuottaa nopeita painepulsseja vedenpoiston aikana. Vakuumi voidaan kohdistaa kuitumattoon missä tahansa vaiheessa vedenpoiston aikana /64, 65/.

Laitteessa on erillinen sekoituskammio ja suotautumiskammio. Testattava massa sekoitetaan ja lisäaineet annostellaan sekoituskammiossa. Kokeen alkaessa massa putoaa suotautumiskammion viiralle ja muodostaa kuitumaton. Viiran alla oleva pyörivä foili aikaansaa turbulenssin, jota voidaan säätää foilin pyörimisnopeutta muuttamalla. Viiran alla oleva suodoksenkeräysastia on kytketty vakuumpumppuun. Kuvassa 21 on esitetty PDD:n rakenne.



Kuva 21. PDD:n rakenne /64/.

Alkuperäistä PDD-testeriä paranneltiin, koska siinä kuitumaton muodostuminen tapahtui pääosin suotautumismekanismeilla /64/. Tulosten mukaan monessa tapauksessa korkeaneliömassaisen flokkauskemikaalin lisääminen hidasti suotautumisnopeutta laboratoriossa, mutta koeajot paperikoneella johtivat päinvastaiseen tulokseen /65/.

Uudessa versiossa tiivistymismekanismi haluttiin maksimoida /64/. Näytteen kokoa pienennettiin. Neliömassatavoite asetettiin samaksi kuin simuloitavalla paperikoneella, jolloin näytteen sakeus voitiin pitää lähellä perälaatikkosakeutta. Viiran rakennetta muutettiin karkeammaksi. Foilin nopeutta kasvatettiin arkinmuodostuksen aikana kuitumattoon kohdistuvien leikkausvoimien lisäämiseksi. Lisäksi kohtuullisen vakuumin (34 kPa) annettiin vaikuttaa heti kokeen alussa.



PDD:a testattiin vertaamalla sen antamia tuloksia paperikoneelta saatuihin tuloksiin. PDD:n antamaa kuvaajaa vedenpoistosta ajan funktiona verrattiin paperikoneen vedenpoistoon. Huomattiin, että aika, jolloin 90 % kokonaisvesimäärästä on poistunut, antoi parhaan korrelaation PDD:n ja paperikoneen välille /64/. Tällöin myös tulosten tarkkuus oli parhaimmillaan tietyllä toistomäärällä. Kaikissa tehdyissä vertailuissa uusi menetelmä simuloi oikein paperikoneen tapahtumia erilaisilla kemikaalisysteemeillä. Menetelmää käytetään uusien tuotteiden kehittämiseen ja vedenpoistokemikaalien valitsemiseen tiettyihin sovellutuksiin, ja sillä on pystytty simuloimaan kemikaalien vaikutusta paperikoneen koko vedenpoistotapahtumaan. PDD sopii parhaiten käytettäväksi kun pääasiallinen käsittelyn kohde on paperikoneen vedenpoisto, kun taas DDJ on parempi työkalu retention parantamisen ollessa pääasiallisena tavoitteena.

## **5.5 Voimakkaita pulsseja aikaansaavat laitteet**

### **5.5.1 Moving Belt Drainage Tester (MBDT) ja sen uudemmat versiot MBDF ja MBF**

Laboratoriolaitteissa on ollut tyypillistä, että vain yhtä imuvoimakkuutta on voitu käyttää. Tasoviirakoneen viiraosalla kulkevaan rainaan imu kohdistuu kuitenkin pulssimaisena, mikä vaikuttaa rainan rakenteeseen. Todellisuutta vastaavan koelaitteen pitää aikaansaada nopeita imupulsseja, joiden voimakkuutta voidaan säätää suhteellisen suurella alueella.

Teknillisen korkeakoulun paperitekniikan laboratoriossa on kehitetty laboratorio-mittainen suotautumistesteri MBDT (Moving Belt Drainage Tester). MBDT:sta on tehty kaksi uudempaa versiota, MBDF (Moving Belt Drainage Former) Australian Pulp and Paper Institute:ssa ja MBF (Moving Belt Former) Teknillisessä korkeakoulussa. Laitteiden toimintaperiaate on hyvin samanlainen. MBDF:n käyttöä on painotettu kuitenkin enemmän arkkimuottina.

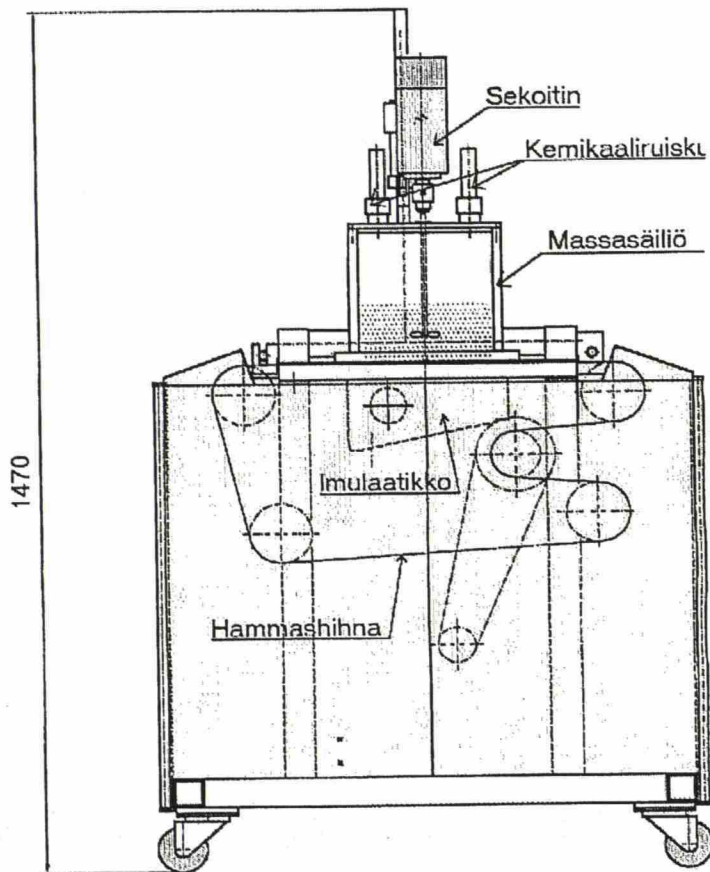
MBDT:a kehitettäessä tavoitteena oli seuraavat vaatimukset täyttävä laite /37/:

- Laitteen aikaansaamien imupulssien taajuus olisi yli 100 pulssia sekunnissa, kun aikaisemmilla laitteilla ollaan saatu aikaan 10 pulssia sekunnissa.
- Imupulssien voimakkuutta on voitava säätää, jotta voitaisiin jäljitellä paperikoneen olosuhteita.
- Viiran alapuolella on oltava veden kaavinta, jotta kuitumatosta poistunut vesi ei pääse viiran alapinnalta takaisin kuitumattoon.
- Vedenpoiston nopeus ja ilmavirtaus kuitumaton läpi tulee olla mitattavissa.
- Laite on oltava yhden henkilön käytettävissä tavallisissa laboratorio-olosuhteissa.
- Laitteella tulisi saada arkkeja, jotka sopivat käsiarkkien mekaaniseen ja optiseen testaukseen.

Sulppu suotautetaan paikallaan olevalle märkäviirille /8,37,66/. Viiroina käytetään paperikoneviiroja. Näyte sekoitetaan pyörivän potkurisekoittimen avulla. Koeastia on jaettu kahteen osaan, sekoitus- ja suotautumiskammioon, koska sekoitus ei voi tapahtua viiralla arkinmuodostuksen häirinnän vuoksi. Massa suotautuu viiralle, kun sekoituskammion ja suotautumiskammion välinen kansi avataan. Viiran alla on liikkuva hammashihna, jonka hampaat vaikuttavat paperikoneen foilien tavoin näytteeseen. Imun pulssimaisuus laitteessa saadaan aikaan, kun imu vaikuttaa hammashihnassa olevien reikien kohdalla. Hammashihna on rei'itetty tietyn kuvion mukaisesti. Reikien koko, välimatka toisistaan ja hihnan nopeus määräävät imupulssien keston ja esiintymistiheyden. Hammashihna kaapii suotautuneen veden pois viiran alapinnalta. Hammashihnan alla on tyhjöjärjestelmään kytketty imulaatikko. Avattaessa imulaatikkoon menevä imuyhde imu vaikuttaa muodostuvaan kuituverkostoon. Initiaalivedenpoiston jälkeen rainaan on mahdollista kohdistaa korkeampi vakuumi, joka saadaan aikaan tehokkaalla vesirengaspumpulla.

Kuituverkostoon kohdistuu samanlainen pulseeraava vedenpoisto kuin tuotantokoneillakin. Vedenpoiston pulssitaajuus (MBF:llä 75-150 Hz) ja imuajat (0-500 ms) ovat tuotantokoneita vastaavalla tasolla /66/. Pinnankorkeutta, ilmavirtausta arkin läpi ja arkkiin vaikuttavaa vakuumia mitataan kokeen kuluessa ja tiedot kerätään

tietokoneelle. MBF:lla pinnankorkeuden mittaus kertoo vedenpoiston nopeuden. Kuvassa 22 on esitetty MBF:n rakenne.



Kuva 22. MBF-testerin rakenne /66/.

Muodostuneesta arkista voidaan kuivatuksen jälkeen mitata formaatio ja orientaatio tai tehdä muita tyypillisiä käsiarkeille sopivia mittauksia /37/. Käsiarkkien perusteella voidaan arvioida eri massoja ja tarkastella massan, jauhatuksen ja vedenpoiston vaikutuksia paperin ominaisuuksiin /67/. Perinteisten arkkimuottien arkit ovat rakenteeltaan tasaisempia ja kerrostuneempia kuin paperikoneella valmistettujen paperien rakenne, eivätkä olosuhteet arkkimuoteissa muistuta paperikoneen olosuhteita. MBDT:llä saatujen arkkien rakenne on parempi, koska arkin formaatiota voidaan säädellä massan sakeutta, sekoitusta ja vedenpoistoprofiilia muuttamalla. Muodostuvan arkin rakenne on samankaltainen paperikoneella valmistettuun paperiin verrattuna muuten paitsi kuituorientaation osalta.



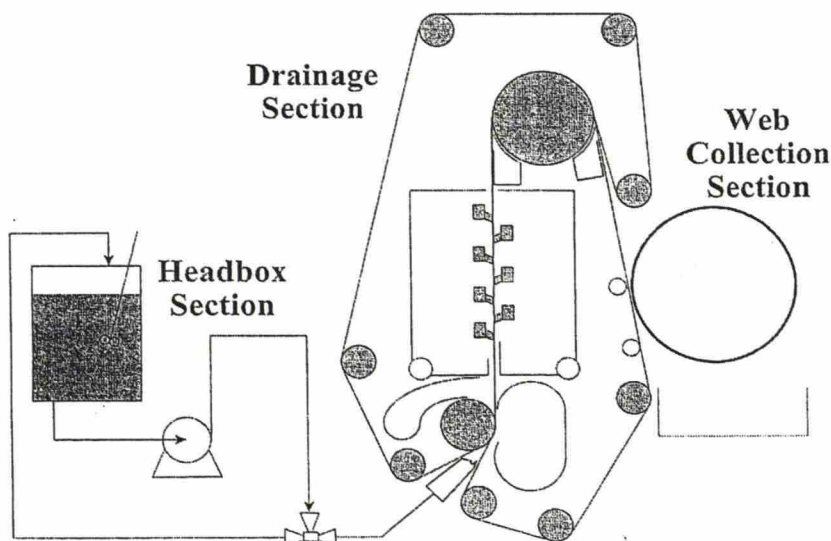
MBDT-testeriä käytettiin ensin erilaisten massojen vedenpoisto-ominaisuuksien luonnehtimiseen /10/. Koepaperikoneella tehdyn MBDT:n antamien tulosten verifiointin jälkeen MBDT:a on käytetty myös tuotantokoneen vedenpoiston arviointiin.

Vedenpoistoa tutkitaan laboratoriossa yleensä huoneenlämpötilassa, kun paperikoneella massan lämpötila on välillä 40-60°C. Lämpötilojen ero on tarpeeksi suuri vaikuttaakseen veden viskositeettiin ja pintajännitykseen /10/. Erityisesti veden viskositeetti vaikuttaa nopeuteen, jolla vettä voidaan poistaa massasta. MBDT:llä tehtyjen kokeiden perusteella lämpötila vaikuttaa tyhjävedenpoistoon niin paljon, että se on otettava huomioon mittauksissa. Lämpötilariippuvuuden vuoksi MBDT:llä tehdään mittaukset yleensä lämpötilassa 50-60°C.

### **5.5.2 Twin-wire Handsheet Former**

Hammockin ja Garnierin /68/ suunnittelemassa laitteessa todellista paperinvalmistusprosessia simuloidaan kaksoisviiraformerilla, jossa arkinmuodostus on lyhytkestoinen, stationaarissa tilassa tapahtuva prosessi. Laitteella on tarkoitus simuloida paperikoneella tapahtuvaa vedenpoistoa ja retentiota ja samalla saada tietoa muodostuvan arkin rakenteesta ja fysikaalisista ominaisuuksista. Todellisuutta vastaavat olosuhteet on saatu aikaan käyttämällä laitteistossa samoja vedenpoistomekanismeja kuin paperikoneilla.

Kaksoisviiraformerin on jaettu perälaatikko-, vedenpoisto- ja rainankeräysosaan /68/. Perälaatikko-osa kiihdyttää sulpun virtauksen ja muodostaa siitä leveän, ohuen suihkun rainan aikaansaamiseksi. Perälaatikko-osan ansiosta prosessi saavuttaa stationaaritilan nopeasti. Vedenpoisto-osassa vesi poistuu sulpusta muodostaen rainan. Initiaalivedenpoisto tapahtuu, kun massasuihku kohtaa viiran juuri ennen formeritelaa. Laitteessa on 7 foilia, noin 20 cm päässä toisistaan vastakkaisilla puolilla /68/. Jokainen foili aiheuttaa painepulssin rainan kulkiessa niiden ohitse. Raina kulkee lopuksi kolmen imulaatikon ohi. Kuvassa 23 on esitetty kaaviokuva laitteesta.



Kuva 23. Twin-wire Handsheet Former /68/.

Prosessi tapahtuu stationaaritilassa noin 30 sekunnin aikana /68/. Viiravesi ja märkä raina otetaan talteen koko prosessin ajalta. Kokeen päätyttyä raina punnitaan ja kuivataan paperin rakenteen selvittämistä varten. Rainan lopullinen kuiva-ainepitoisuus on jonkin verran alhaisempi verrattaessa todellisen paperikoneen formeriosalla saavutettavaan kuiva-ainepitoisuuteen /68/. Syinä tähän on foilien optimoinnin puute ja imulaatikoiden aikaansaama alipaine (20 kPa), joka on paperikoneen imulaatikoihin verrattuna huomattavasti pienempi. Laitetta on tarkoitus kehittää edelleen epäkohtien poistamiseksi. Vertailu laboratoriosysteemin ja tyypillisen teollisen paperikoneen välillä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Vertailu Twin-wire Handsheet Formerin ja tyypillisen paperikoneen välillä /68/.

	Paine	Vedenpoisto (% syötetystä määrästä)	Loppu- kuiva-ainepitoisuus
<b>Tuotantokoneen olosuhteet</b>			
Perälaatikko		0 %	0,6 %
Formeritela	5-10 kPa	70 %	2,0 %
Foilit	15-30 kPa	20 %	6,0 %
Vakuumiosa	20-60 kPa	4 %	10,0 %
Huopautustela	80 kPa	2 %	15,0 %
<b>Laboratorio-olosuhteet</b>			
Perälaatikko		0 %	0,59 %
Formeritela	15 kPa	66,90 %	1,85 %
Foilit	15 kPa	11,70 %	2,83 %
Vakuumiosa	20 kPa	16,70 %	12,57 %

### 5.5.3 High Speed Retention Tester (HSRT)

Sivén ja Manner /69/ kehittivät HSRT:n erilaisten retentiosysteemien tutkimiseksi. Laitteessa on kaksoisviiraformeri, joka toimii samalla periaatteella kuin gap-formeri, ja vedenpoisto tapahtuu rainan molemmilta puolilta. Laitteessa on kolme kemikaalien annosteluyksikköä ja mahdollisuudet säädellä vedenpoisto-olosuhteita laajalla alueella. Vedenpoiston pulssitaajuus on säädettävissä jopa 180 pulssiin sekunnissa. Kokeen aikana vakuumi on tyypillisesti välillä 0,3-0,35 bar /71/. Laitteella voidaan tarkastella samanaikaisesti vedenpoistoa, retentiota ja muodostuvan paperin formaatiota. Laitteella on keskitytty paperin rakenteen tutkimiseen. Muuttujina on mm. suotautumispaine, ulkoviiran puoleinen vakuumi, pulssitaajuus ja viirojen rakenne kuten paperikoneellakin. Kaikkia prosessin muuttujia kontrolloidaan systeemissä olevalla tietokoneella. Toistaiseksi laitteella on tutkittu lähinnä retentiota ja formaatiota, mutta vedenpoistoasioita ollaan ottamassa enemmän esille tulevaisuudessa.

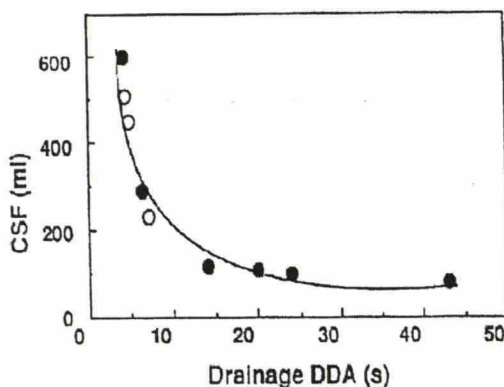
HSRT:n toimintaperiaate on päinvastainen paperikoneeseen verrattuna. HSRT:n viirat ovat kiinteitä ja perälaatikko liikkuu vasemmalta oikealle niiden välissä /69,70/. Perälaatikon kulkiessa eteenpäin viirojen välissä se suihkuttaa sulppua taaksepäin. Massan sekoitus ja kuljetus perälaatikkoon on jatkuvatoiminen prosessi, jossa massa pidetään voimakkaan sekoituksen alaisena tasaisessa sakeudessa. Arkinmuodostusprosessi toimii jaksoittain kestäen vain tasaisen arkin muodostumisen ajan. Vedenpoistoelimet synnyttävät painepulsseja kuitumattoon. Paperikoneen kiinteät vedenpoistoelementit on korvattu pyörivällä foilikammilla. Paine saadaan ensin aikaan viiroja kiristämällä ja myöhemmin pyörivän foilikammion foilien avulla. Initiaalivedenpoisto tapahtuu alaspäin (60 %) ja samanaikaisesti ylöspäin (40 %) keskipakovoiman vaikutuksesta. Vedenpoiston nopeutta voidaan säätää ulointa viiraa kiristämällä.



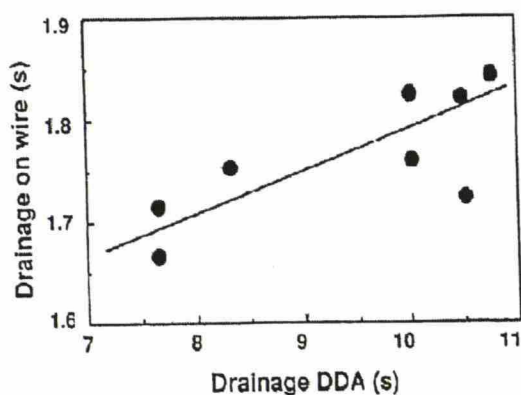
## 6 LABORATORIOMENETELMIEN VERTAILU KIRJALLISUUDESSA

Eri laboratoriomenetelmien vertailututkimuksia löytyy suhteellisen vähän. Pask ja Lorz /72/ vertailivat SR-, CSF- ja DDJ-laitteita käyttäen erilaisia retentioaineita. Laboratoriolaitteilla saatuja tuloksia verrattiin myös paperikonekoeajojen tuloksiin. Kemikaalien vertailuun SR ja DDJ soveltuivat parhaiten. Menetelmillä pystyttiin arvioimaan, millä kemikaalilla todennäköisesti saavutettaisiin hyviä tuloksia paperikoneella. Retentioaineen tehokkuutta kvantitatiivisesti menetelmillä ei voi määrittää. Häiriöaineet näyttävät häiritsevän tuloksia niin laboratoriossa kuin paperikoneellakin.

Forsberg ja Bengtson /6/ vertasivat CSF-testin tulosta suotautumisaikaan DDA:ssa ja suotautumisaikoja DDA:lla ja paperikoneella. CSF-arvot ja DDA:n vedenpoisto korreloivat hyvin, mutta korrelaatio ei ollut lineaarinen. Tulosten perusteella DDA on herkempi alhaisen freeness-tason massoille, jotka yleisesti ovat kiinnostavampia vedenpoisto- ja retentiotutkimuksissa. Vertailu paperikoneeseen tehtiin paperikonekoeajon yhteydessä. Suotautuminen, arkin huokoisuus ja märän arkin kuiva-ainepitoisuus mitattiin paperikoneella ja DDA:lla. Paperikoneen ja DDA:n vedenpoistolla on kohtalainen yhteys. Aikaskaalojen ero johtuu osittain lämpötila-erosta kokeen aikana ja erilaisista kuitumaton muodostumisolosuhteista. Tulokset on esitetty kuvissa 24 ja 25.



Kuva 24. CSF verrattuna suotautumisaikaan DDA:lla /6/. avoimet symbolit (retentioaineen kanssa), täytetyt symbolit (ilman retentioainetta)



Kuva 25. DDA:n vedenpoisto verrattuna paperikoneen vedenpoistoon /6/.

Wirth et al. /73/ vertailivat DDJ-, DDA- ja SR-laitteita. Parhaat tulokset kokeiden perusteella saatiin DDA:lla. Mittavirhe oli DDA:lla pienin ja menetelmä säästi aikaa, koska samalla kertaa saatiin tietoa retentiosta, suotautumisajasta ja huokoisuudesta. DDA:n etu oli myös laitteistoon kytketty tietokone, jolla koetta voidaan kontrolloida.

## 7 VEDENPOISTON ON-LINE MITTAAMINEN PAPERIKONEELLA

Jatkuvatoiminen ja luotettava mittausmenetelmä auttaa jauhatuksen, kemikaalianostelutason ja vedenpoistoelementtien säätöä. Oikein annostellut retentio- ja vedenpoistokemikaalit parantavat paperikoneen tehokkuutta, määränpään stabiilisuutta, formaatiota ja alentavat tuotantokustannuksia /74/. Vedenpoiston on-line-mittauslaitteilla voidaan mitata paperikoneen vedenpoistoprofiileja ilman koneen tuotannon häiriintymistä.

### 7.1 Ultraäänimittaus

Ultraäänilaitteella voidaan tehdä mittauksia häiritsemättä paperikoneen normaalia toimintaa /75/. Ottamalla samalla viiravesinäyte jokaiselta vedenpoistoelimeltä voidaan viiraretention, arkin kuiva-ainepitoisuuden ja tuhkaretention kehitystä paperikoneella seurata. Laitetta käytetään yleisimmin vedenpoisto- ja retentioprofiilien laskemiseen.

Ultraäänilaite toimii siten, että lähetin liikkuu poikkisuunnassa kevyessä kosketuksessa viiran alapinnan kanssa /11,75/. Lähettimen ultraäänipulssi kulkee viiran läpi sulpun yläpinnan ilma-vesi-rajapintaan saakka, josta se heijastuu takaisin lähettimelle. Lähetetyn ja vastaanotetun signaalin välisen ajan perusteella saadaan määritettyä kuitumaton paksuus kyseisessä pisteessä. Kun saadaan tietää kuitumaton paksuus viiralla, voidaan laskea eri elementtien vedenpoistonopeus. Ultraäänilaite on suhteellisen edullinen kannettava laite. Menetelmän puutteena on, että se antaa vedenpoistoprofiilin vain vesirajaan saakka, koska ultraäänilaite vaatii selvärajaisen neste-ilma-rajapinnan signaalin takaisinheijastamiseksi.

## **7.2 Backscatter Gamma Gauge**

Backscatter gamma gauge on yleisimmin käytetty laite paperikoneen vedenpoiston analysoinnissa /10,11/. Kuten ultraäänitekniikassakin, raina ei rikkoudu eikä paperikoneen tuotanto häiriinny mittauksen aikana. Laitteella saadaan tuloksia vesirajan molemmin puolin, jolloin saadaan mitattua täydellinen vedenpoistoprofiili.

Laite sijoitetaan viiran alapuolelle. Mittaus perustuu gammalähteen tuottamien fotonien heijastumiseen, joka on verrannollinen laitteen yläpuolella olevaan massa /11/. Jos viiran massa otetaan huomioon ja tarpeelliset korjaukset tehdään veden mukana poistuneen kiintoaineen osalta, vedenpoisto tietyn elementin kohdalla voidaan laskea.

Suurimman virheen menetelmässä aiheuttaa viiran painon ja sen sisältämän veden määrän virheellisyys /10/. Sekä ultraääni- että gammalaitte antavat puutteistaan huolimatta arvokasta tietoa vedenpoistoprofiileista paperikoneella.



### **7.3 On-line Drainage Analyser**

BTG drainage rate analyser on on-line mittalaite, joka sijoitetaan kierrätyslinjaan ja se mittaa suotautumisaikaa /74/. Laitetta voidaan käyttää vedenpoisto- ja retentiokemikaalien tehokkuuden mittaamiseen paperikoneen märässä päässä.

Massanäyte perälaatikosta täyttää näytekammion, jonka pohjan viiralle kuitumatto muodostuu /74/. Kun näytekammio on täynnä, pohjaventtiili aukeaa ja vesi suotautuu kuitumaton läpi. Aika, jossa suodos läpäisee kuitumaton, mitataan elektrodien avulla. Menetelmä jäljittelee laboratoriomenetelmää, jossa käytetään perälaatikkomassaa ja muodostetaan kuitumatto modifioidussa Schopper-Riegler-laitteessa.

Zetapotentialin ja vedenpoiston samanaikaisella on-line-mittauksella voidaan saavuttaa etuja prosessin stabiloimiseksi ja laadun parantamiseksi mahdollisimman alhaisilla kemikaalikustannuksilla /76/. Laitteita voidaan käyttää apuna pidettäessä perälaatikon zetapotentiali arvossa, joka maksimoi vedenpoiston.

### **7.4 Jatkuvatoiminen Freeness-mittaus**

Kajaani Pulp Drainage Analyzer (PDA) mittaa massan freeness-arvon paperikoneella jatkuvatoimisesti /77/. Laitetta voidaan käyttää mekaanisen massan valmistuksen valvonnassa, kemiallisen massan, rejektin ja kierrätyskuidun jauhatuksen seurannassa ja vedenpoiston seurannassa prosessin eri vaiheissa. Kuten laboratoriomittauksessakin, saatu tulos korjataan lämpötilan ja sakeuden osalta. Laite ottaa automaattisesti prosessista näytteen sekoituskammioon, jossa se tarpeen vaatiessa laimennetaan. Sekoituskammiosta otetaan tietty määrä sulppua, joka sekoitetaan ja josta poistetaan latenssi tarvittaessa. Näyte pudotetaan mittauskammioon ja suotautetaan viiralle. Näyte suotautuu vakuumiin vaikuttaessa. Muodostunut kuitumatto punnitaan sakeuskorjausta varten.

On-line mittalaite PQM400 mittaa automaattisesti sakeuden, suotautumisajan (CSF), kuidun pituusjakauman ja tikkujen kokojakauman /78,79/. Laite ottaa massanäytteen

suoraan prosessista näytesäiliöön, jossa se laimennetaan. Näyte jakautuu suotautumistesterille ja optisiin mittauksiin, jotka tehdään lasiputkessa valonsäteiden avulla. Suotautumisaika korjataan lämpötilan ja sakeuden osalta. Laitteen avulla on saatu parannettua mekaanisen massan laatua minimoimalla freeness-arvon vaihtelua. PQM soveltuu sulpun ominaisuuksien jatkuvaan ja automaattiseen mittaamiseen. Laitteen antamien tulosten on todettu olevan samanlaisia perinteisten manuaalimittausten kanssa.

## 8 KIRJALLISUUSOSAN YHTEENVETO

Kirjallisuusosan tarkoituksena oli käydä läpi erilaisia laitteita ja mittaustekniikoita, joita on käytetty vedenpoiston tutkimiseen. Lisäksi selvitettiin retentio- ja vedenpoistomekanismeja ja vedenpoistoon vaikuttavia tekijöitä, erityisesti kemikaloinnin osalta.

Vedenpoisto paperikoneella voi tapahtua suotautumis-, vakuumi-, puristus- ja kuivatusvaiheissa. Pääosa laboratoriomenetelmistä simuloi kahta ensimmäistä vaihetta, vaikka puristusvaiheen simulointi on viime aikoina saanut enemmän huomiota. Kutakin menetelmää tarkasteltaessa on huomioitava, mitä vedenpoiston vaihetta se kuvaa.

Vedenpoisto paperikoneen viiraosalla tapahtuu kolmella mekanismilla, jotka voivat vaikuttaa samanaikaisesti. Mekanismit ovat suotautuminen, sakeutuminen ja turbulentti sakeutuminen. Vedenpoistoon vaikuttavat massan ominaisuudet ja suotautumisolosuhteet. Kuitususpension suotautumisnopeuteen vaikuttavat mm. massan hienoainepitoisuus, suspensiossa oleva häiriöaines ja kolloidit, suspensiossa olevat pinta-aktiiviset aineet ja ilma, kuitujen pintaominaisuudet ja kokoonpuristuvuus, massassa olevien flokkien laatu ja määrä sekä massan lämpötila, pH ja sakeus. Massan ominaisuuksien, prosessiolojen ja lisäaineiden perusteella määräytyy muodostuvan arkin rakenne, joka vaikuttaa vedenpoistoon initiaalisuotautumisen jälkeen.

Vedenpoistoon viiraosalla vaikuttavat merkittävästi tärkkelys sekä retentio- ja vedenpoistokemikaalit. Retentioaineilla on vedenpoistoon pääasiassa positiivinen

vaikutus. Kemikaaleista PEI:llä on edullinen vaikutus vedenpoistoon mutta PAM:ien vaikutus voi vaihdella paljon systeemistä toiseen, puuttua kokonaan tai olla jopa epäedullinen paperin pohjanmuodostuksen ollessa epätasainen. Tärkkelys parantaa vedenpoistoa tiettyyn pitoisuuteen saakka, jonka jälkeen vedenpoisto huononee.

Viiran tehtävinä on veden poistaminen massasta, rainanmuodostus ja rainan kuljettaminen puristimelle. Viiran on kontrolloitava suotautumisnopeutta, mutta myös oltava rakenteeltaan sellainen, että se estää kuitujen ja hienoaineen kulkeutumisen veden mukana pois paperista. Suotautumisnopeuteen vaikuttaa voimakkaasti viiran yläpinnan lankojen säietiheys ja pintalankojen suunta. Kuidun jäykkyys, kuidun pituus ja hieno- ja täyteaineen määrä vaikuttavat kuitujen järjestäytymiseen viiran pinnalle ja siten myös suotautumisnopeuteen.

Paperirainan muodostuttua viiralle vettä voidaan poistaa ennen puristusta kohdistamalla rainaan vakuumi, joka vetää vettä pois rainasta viiran läpi. Paperikoneella painepulsseja syntyy, kun viira ja sen päällä oleva massasuspensio kulkevat vedenpoistoelinten ylitse. Voimakkaiden ja nopeiden painepulssien vaikutuksesta kuitumatto hajoaa ja muodostuu uudelleen nopeaan tahtiin. Painepulssien vaikutuksesta rainasta tulee avoimempi ja löyhärakenteisempi ja veden virtaus kuitumatossa helpottuu. Kuitumaton alaosissa tapahtuu hienoaineen huuhtoutumista pois, minkä seurauksena on epätasainen hienoainejakauma kuitumatossa. Vedenpoiston kannalta olennaisia prosessitekijöitä ovat imun vaikutusaika sekä imuvoimakkuus ja imuprofiili. Mitä korkeampi vakuumi on, sitä korkeampi kuiva-ainepitoisuus voidaan saavuttaa. Vedenpoiston ja vakuumitason välinen yhteys ei kuitenkaan ole lineaarinen tai samanlainen kaikilla massoilla. Paras tulos saavutetaan, kun kuitumatto on tasaisesti rakentunut hienoaineen vaikutuksesta ja reagoi edullisesti imuun, mikä johtaa korkeampaan vakuumitasoon ja kuitumaton kokoonpuristumiseen.

Vedenpoiston tutkimiseksi laboratoriossa on kehitetty huomattava määrä erilaisia laitteita. Yleisimmin käytettyjä menetelmiä ovat yksinkertaiset CSF- ja SR-testit. Menetelmissä mitataan suotautumisnopeutta (CSF) ja massan suotautumisvastusta (SR) ilman turbulenssin vaikutusta. Käytäntöön soveltamisen ongelmana on freeness-



testien yksinkertaisuus. Ne perustuvat massan suotautumiseen painovoiman vaikutuksesta eikä leikkausvoimia esiinny. Menetelmissä ei oteta huomioon kuitumaton kokoonpuristumista eikä imun vaikutusta kuitumattoon.

Vedenpoistoa on tutkittu erilaisilla vakionopeudella tai vakioapaineessa toimivalla laitteistolla. Laitteiden avulla haluttiin saada perustietoa vedenpoistosta, ja ne ovat hyvin rajoittuneita paperikoneen vedenpoiston arviointiin. Suotautumisnopeuden tarkkaan mittaamiseen on olemassa laitteita, joissa mittaus tehdään ultraäänen tai laserin avulla. Kyseiset ultraääni- ja lasertekniikat mittaavat vedenpoistoa pelkästään suotautumisvaiheessa.

DDJ (Dynamic Drainage Jar) on yksinkertaisuutensa vuoksi yleisesti käytetty laite retention ja retentioaineiden vaikutusten tarkastelussa. Mittaukset tehdään turbulenteissa olosuhteissa. DDJ:llä tutkitaan lähinnä viiraosan alun tapahtumia. Laitteessa kuitumattoa ei muodostu viiralle, mikä rajoittaa tulosten sovellettavuutta. DDJ:sta on tehty lukuisia modifikaatioita, joissa kuitumatto muodostuu viiralle. Eräs DDJ:n modifikaatioista on DDA (Dynamic Drainage Analyzer). DDA:a käytetään retention ja vedenpoiston tutkimiseen. DDA:ssa kemikaalien annostelua ja sekoitusta kontrolloidaan tietokoneen avulla. DDA:lla saadaan arkki, jolloin saadaan tietoa muodostuvan arkin vaikutusta vedenpoistoon. DDJ-menetelmään verrattuna DDA säästää aikaa, koska samalla kertaa saadaan tietoa retentiosta, suotautumisajasta ja huokoisuudesta.

WRV (Water Retention Value)-tyyppisissä menetelmissä mitataan vesimäärä, jonka näyte sisältää tietyn sentrifugoinnin jälkeen. WRV-testit kuvaavat massan vedenpoistoa puristavien voimien vaikutuksesta, kuten paperikoneen puristinosalla tapahtuu. Tutkimusten perusteella massan WRV-arvon on todettu korreloivan saman massan vedenpoistokäyttäytymisen kanssa paperikoneella sentrifugoinnin olosuhteiden ollessa huolellisesti valitut.

Edellisistä laitteista on puuttunut mahdollisuus kohdistaa massa painepulsseja, joita esiintyy paperikoneella. Eräs painepulssien vaikutuksesta vettä poistava laite on MBF (Moving Belt Former). Siinä voimakkuuden ja nopeuden osalta laajalla alueella säädettävät imupulssit vaikuttavat arkinmuodostukseen. Laitteella voidaan tutkia

esimerkiksi viiraosan ilmiöitä ja rainojen vedenpoisto-ominaisuuksia. MBF:lla voidaan simuloida tietyn paperikoneen vedenpoistoa, kun imupulssien taajuus, amplitudi ja lukumäärä säädetään vastaaviksi kuin kyseisellä paperikoneella. Laitteella saadaan aikaan käsiarkkeja, joiden perusteella voidaan arvioida massan ja vedenpoiston vaikutuksia paperin ominaisuuksiin.

Vedenpoiston ja retention tutkimiseksi on myös kehitetty kaksoisviiraformereita. Kaksoisviiraformereissa on käytetty paperikoneeseen verrattuna samanlaisia vedenpoistomekanismeja, kuten foileja ja imulaatikoita. Laitteilla simuloidaan paperikoneen vedenpoistoa ja retentiota ja samalla saadaan tietoa muodostuvan arkin rakenteesta.

Vedenpoiston on-line-mittauslaitteilla voidaan mitata paperikoneen vedenpoistoprofiileja ilman koneen tuotannon häiriintymistä. Jatkuvatoiminen ja luotettava mittausmenetelmä auttaa jauhatuksen, kemikaaliannostelutason ja vedenpoistoelementtien säätöä. Mittauslaitteita, joita käytetään on-line mittaukseen, ovat mm. ultraääni- ja gammasädemittalaitteet, BTG drainage rate analyser, Kajaani PDA- ja PQM-laitteet.

# KOKEELLINEN OSA

## 9 KOKEELLISEN OSAN TAVOITE

Kokeellisen osan tavoitteena on löytää yksinkertainen vedenpoiston laboratorio-mittausmenetelmä, jonka tulokset olisivat vertailukelpoisia MBDT-laitteella saatuihin tuloksiin. Tarkastelu tehdään vertaamalla tietylle massajoukolle MBDT:llä saatuja vedenpoiston lukuarvoja kolmella muulla laitteella samalle massajoukolle saatuihin arvoihin. Työssä halutaan selvittää, korreloiko MBDT muiden mittausmenetelmien kanssa ja minkälainen mahdollinen korrelaatio on.

## 10 KOESUUNNITELMA

Kokeiden muuttujat voidaan jakaa kolmeen osaan: massat, retentioaineet ja mittausmenetelmät. Kokeisiin valittiin kuusi erilaista massakoostumusta. Retentio-aineiden osalta muuttujia olivat aineet ja niiden annostelumäärät. Kokeissa käytettiin neljää erilaista vedenpoiston tutkimiseen käytettyä laitetta tai menetelmää. Koesuunnitelma sisälsi yhteensä 90 koepistettä. Koepistekohtainen koesuunnitelma on esitetty liitteessä 1.

### 10.1 Laitteet

Laitteiden valintakriteereinä oli yksinkertaisuus, helppokäyttöisyys ja se, että ne olisivat yleisesti käytössä tai että ne olisivat helposti koottavissa yleisistä laitteista. Kokeet valittiin tehtäväksi MBDT:n lisäksi kolmella erilaisella menetelmällä. DDA valittiin, koska se on melko yleisesti käytössä oleva MBDT:ä yksinkertaisempi laite, jolla vedenpoistoa ja retentiota on tutkittu. Kaksi muuta menetelmää perustuvat sentrifuugin ja standardoidun Schopper-Rieglerin laitteen, vaa'an ja tietokoneen käyttöön.



### 10.1.1 MBDT

MBDT on tässä työssä vertailukohta, jota vasten muita menetelmiä tarkastellaan. Kokeet tehtiin Teknillisen korkeakoulun paperitekniikan laboratoriossa vuonna 1991 valmistuneella laitteella. Ennen kokeita tietokoneelle määriteltiin sekoitusjakson pituus, sekoittimen nopeus, välipohjan aukeamisajankohta, kokeen kesto ja pulssitaajuus. Sulppu annosteltiin käsin koeastiaan, ja sekoitin käynnistyi. Massaa sekoitettiin 40 sekuntia nopeudella 1460 r/min. Sekoituksen aikana lisättiin retentioaineet liitteessä 3 olevan järjestyksen mukaisesti. Näyteastian välipohja aukesi 40 sekunnin kuluttua sekoituksen aloittamisesta ja sulppu suotautui viiralle. Hammashihna alkoi pyöriä jo ennen massan tuloa viiralle. Kokeet tehtiin kussakin koepisteessä 0, 25 ms ja 250 ms imuajoilla 25 kPa:n vakuumilla. Pulssitaajuus kokeissa oli 75 Hz. Jokaisessa koepisteessä tehtiin vähintään 5 rinnakkaismäärittystä. Jos kuiva-ainepitoisuuksien keskihajonta oli vielä yli 0,3 yksikköä, määrittäyksiä tehtiin lisää.

Tavoiteneliömassoiksi valittiin tyypilliset paperikoneella SC:llä ja hienopaperilla käytettävät neliömassat, 56 g/m<sup>2</sup> mekaanisille massoille ja 80 g/m<sup>2</sup> selluille. Massan sakeudeksi valittiin 5,0 g/l. Massa lämmitettiin erillisessä massasäiliössä 50°C:n lämpötilaan. Viira valittiin viiranvalmistajan antamien tietojen perusteella. Kaikilla massoilla käytettiin samaa kaksikerrosmärkäviiraa (SC-paperiviira), jonka ilmanläpäisy oli 5000 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>.

### 10.1.2 DDA

DDA otettiin mukaan vertailuun, koska se on melko yleisesti käytössä oleva laite ja sen on todettu olevan DDJ:a parempi verrattaessa paperikoneeseen. Kokeissa käytetyn DDA-laitteen valmistaja on Akribi Kemikonsulter AB. Ennen kokeiden aloittamista DDA:lla tietokoneelle määriteltiin sekoittimen nopeus, sekoitusaika ja retentioaineiden lisäysajankohdat. Massa annosteltiin koeastiaan ja koe aloitettiin. Sekoitusjakso oli 40 sekuntia 1500 r/min nopeudella ja kemikaalit lisättiin liitteessä 3 esitetyssä järjestyksessä. Sekoittimen pysähtyttyä pohjan venttiili aukesi ja sulppu suotautui viiralle. Kokeissa käytettiin 100 mesh:n viiraa (M 0,15 T 0,112) ja vakuumin suuruus

suotautumisen aikana oli 0,2 bar. Kokeet tehtiin 500 ml:n näytetilavuudessa ja 4,0 g/l sakeudessa kaikilla massoilla. Mekaanisilla massoilla tehtiin kokeet lisäksi 500 ml:n tilavuudessa ja 2,5 g/l sakeudessa. Mekaanisilla massoilla tehtiin molemmissa sakeuksissa kokeet myös 50°C:n lämpötilassa, koska lämpötila vaikuttaa voimakkaasti suotautumiseen erityisesti mekaanisilla massoilla. Suotautumisaika, suodoksen sameus sekä märän ja kuivan arkin massa mitattiin. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin standardin SCAN-C 3:61 mukaan ja täyteainepitoisuus standardin SCAN-C 6:62 mukaan.

### 10.1.3 Modifioitu SR-testi

Standardoitua SR-testiä modifioitiin niin, että SR-testeristä tuleva vesimäärä saatiin mitattua ajan funktiona. Modifioitu testi on yksinkertainen, mutta se antaa enemmän tietoa kuin tavallinen SR-koe. Modifioitua SR-menetelmää varten rakennettiin laitteisto, jossa standardoituun SR-testeriin liitettiin vaaka ja tietokone suodoksen kertymisen seuraamiseksi. Näytteen tilavuudeksi valittiin yksi litra ja kuiva-ainepitoisuudeksi 2 g SR-standardiin perustuen. Kemikaalit sekoitettiin massaan ennen suotautumiskoetta potkurisekoitinta käyttäen 1500 rpm kierrosnopeudessa. Kokonaissekoitusaika oli 40 sekuntia ja kemikaalit lisättiin liitteen 3 mukaisesti. Sekoituksen jälkeen sulppu kaadettiin välittömästi SR-testeriin ja koe tehtiin SR-standardin SCAN-C 19:65 mukaisesti, mutta suodos kerättiin vaa'alle. Tulokset saatiin kuvaajana suodoksen kertymisestä ajan funktiona. Suodoksesta mitattiin sameus. Arkin kuiva-ainepitoisuus määritettiin standardin SCAN-C 3:61 mukaan ja tuhkapitoisuus täyteaineellisilta massoilta standardin SCAN-C 6:62 mukaan. Mekaanisilla massoilla tehtiin kokeet sekä huoneenlämmössä että 50°C:ssa.

### 10.1.4 Sentrifugointi

Sentrifugointi valittiin yhdeksi menetelmäksi, vaikka se poikkeaa muista valituista menetelmistä. Sentrifugointia on yleensä käytetty puristinosan simulointiin, koska siinä näytteeseen saadaan vaikuttamaan voimakkaita kokoonpuristavia voimia. Tässä työssä päätettiin kokeilla, miten sentrifugoinnin avulla saadut tulokset korreloisivat MBDT:n tulosten kanssa. Sentrifuugin kierrosnopeus määrää voiman, joka kohdistuu

näytteeseen sentrifugoinnin aikana. Tavoitteena oli etsiä sopivan alhainen kierroslukutaso, jolla massakakun kuiva-ainepitoisuus ei nousisi liian korkeaksi. Esikokeiden perusteella sentrifugoinnin kierrosluvuiksi valittiin 1000 rpm ja 2000 rpm, koska tällöin massan kuiva-ainepitoisuus kokeen jälkeen näytti olevan sopivalla tasolla. Ensimmäisen sentrifugoinnin (1000 rpm) jälkeen massojen kuiva-ainepitoisuudet olivat samaa suuruusluokkaa kuin MBDT:llä 250 ms imuajan jälkeen. Massan sakeudeksi valittiin esikokeiden perusteella 1,4 % ja annostelumääräksi 30 g putkea kohden. Käytetyssä sentrifuugissa 1000 rpm pyörimisnopeus vastaa noin 200 g sentrifugointivoimaa ja 2000 rpm pyörimisnopeus noin 800 g voimaa ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , maan vetovoiman kiihtyvyys)

Menetelmässä kemikaalit lisättiin massaan liitteen 3 mukaisesti potkurisekoitinta käyttäen (1500rpm). Kemikaalit sekoitettiin näytteeseen, jonka tilavuus oli 500-700 ml ja sakeus 1,4 %. Sekoituksen jälkeen sulpusta otettiin sentrifuugiputkeen varsinainen 30 g:n näyte. Putken halkaisija oli 34 mm ja sen pohjalla oli 125 meshin viira. Ylimääräisen veden annettiin valua putkesta pois 15 minuutin ajan. Sentrifuugina käytettiin Jouan GR 4 22- merkkistä laitetta. Näytteitä sentrifugoitiin 15,5 minuutin ajan (kiihdytys ja jarrutusaika poislukien) ensin 1000 rpm ja sitten 2000 rpm nopeuksilla. Massakakku punnittiin sekä 1000 rpm että 2000 rpm sentrifugointien jälkeen. Kuiva-ainepitoisuus määritettiin standardin SCAN-C 3:61 mukaisesti.

## **10.2 Massat**

Kokeisiin valittiin kaksi tyypillistä paperikonemassaa (hienopaperi- ja SC-massa). Lisäksi päätettiin ottaa mukaan vertailuun kaksi erilaista hioketta ja kaksi sellua. Kokeisiin valittiin kuusi massakoostumusta:

1. Pelkästään mekaanista kevyesti jauhettua massaa, lähinnä sanomalehtimassaa vastaava koostumus.
2. Pelkästään pitkälle jauhettu mekaaninen massa, jota käytetään esimerkiksi LWC-paperin valmistuksessa.
3. Pelkästään kemiallista kevyesti jauhettua massaa.



4. Pelkästään kemiallista pitkälle jauhettua massaa.
5. Runsaasti mekaanista massaa ja täyteainetta sisältävä koostumus, joka lähinnä vastaa SC-paperimassaa.
6. Kemiallista massaa ja täyteainetta sisältävä koostumus, joka vastaa hienopaperimassaa.

Kaksi jauhatustasoltaan erilaista hioketta ovat peräisin eräältä suomalaiselta paperitehtaalta. Hiokkeet lingottiin ja saatu suodos kierrätettiin kerran lingotun massakakun läpi. Massa homogenisoitiin ja pakastettiin. Massan kuiva-ainepitoisuus pakastettaessa oli 20 %:n luokkaa. Suodos pakastettiin erikseen. Ennen käyttöä pakastettu hioke sulatettiin ja kuumahajotettiin. Suodos sulatettiin ja sitä käytettiin massan laimentamiseen kuumahajotuksen jälkeen. Suodosta lisättiin 1200 ml 50g kuivaa hiokemassaa kohti. Kaikissa kokeissa käytettiin lisä- ja laimennusvetenä ionivaihdettua vettä. Kemiallisena massana käytettiin valkaistua mänty- ja koivusulfaattia paaliselluna. Sellu jauhettiin kahdelle eri tasolle Valley-hollanterissa. Kaikki jauhatukset tehtiin mänty- ja koivusellun yhteisjauhatuksena, jossa molempia laatuja oli 50 % kokonaismäärästä. Kokeissa käytettävät massat valmistettiin seuraavista komponenteista:

- sellu                      jauhatus 1 (SR 23)  
                                  jauhatus 2 (SR 32)
- hioke                     jauhatus 1 (CSF 65)  
                                  jauhatus 2 (CSF 54)
- täyteaine               kaoliini (Filler M)  
                                  kalsiumkarbonaatti (Nordkrone 40)

Kokeissa käytetyt massat ja niiden koostumukset on esitetty taulukossa 2.

*Taulukko 2. Kokeissa käytettyjen massojen koostumus.*

<b>Massa:</b>	<b>Koostumus:</b>
<b>Hioke 1</b>	Painehioke CSF 65
<b>Hioke 2</b>	Hioke CSF 54
<b>Sellu 1</b>	valkaistu mäntysulfaatti/valkaistu koivusulfaatti suhteessa 1/1 jauhatus SR-lukuun 23
<b>Sellu 2</b>	valkaistu mäntysulfaatti/valkaistu koivusulfaatti suhteessa 1/1 jauhatus SR-lukuun 32
<b>SC-massa</b>	80% hioke 2 20% sellu 2 50% kuitujen määrästä täyteainetta (kaoliini)
<b>Hienopaperimassa</b>	50% sellu 1 50% sellu 2 67% kuitujen määrästä täyteainetta (kalsiumkarbonaatti)

Massojen pH-arvot säädettiin ennen mittausten tekoa, koska pH:lla on vaikutusta kemikaalien toimintaan ja olosuhteet haluttiin vakioda mahdollisimman tarkasti. pH säädettiin etikkahapon tai natriumkarbonaatin avulla. Mekaanista massaa sisältävien koostumusten pH säädettiin arvoon 5,0 ja kemiallista massaa sisältävien koostumusten pH arvoon 8,0.

Massan lämpötila oli MBDT:lla 50°C. DDA-, SR- ja sentrifugointimenetelmissä lämpötilaa ei voida hallita kokeen aikana. Mekaanisilla massoilla tehtiin DDA- ja SR-kokeet sekä huoneenlämpötilassa (20°C) että 50°C:n lämpötilassa, koska lämpötilan vaikutus suotautumiseen on suurempi mekaanisilla massoilla. Sentrifugointi tehtiin vain huoneenlämpötilassa, koska lämmitetty näyte jäähtyi kuitenkin nopeasti suhteellisen pitkän käsittelyn aikana. Tuloksia tarkastellessa on otettava huomioon massan lämpötila kokeen aikana.

### **10.3 Retentioaineet**

Mekaanisilla massoilla käytettiin yhtä retentioainetta, kationista polyakryyliamidia (Fennopol K3400R). Selluilla ja hienopaperilla käytettiin pelkän kationisen PAM:n (Fennopol K3400R) lisäksi PAM:n ja bentoniitin (Altonit SF) mikropartikkeli-

systemiä. Molempien käytettyjen kemikaalien valmistaja on Kemira Chemicals Oy. Kyseiset retentioaineet valittiin, koska ne ovat kyseisen tyyppisille massoille yleisesti käytettyjä retentiosysteemejä.

Retentioaineiden annostelutasot päätettiin DDJ:llä tehtyjen esikokeiden perusteella. Mekaanisille massoille valittiin annostasot 0, 0,3 ja 0,6 kg/t. Selluille ja hienopaperille valittiin polyakryyliamidin annostelumääräksi 0 ja 0,5 kg/t ja kolmanneksi mikropartikkelisysteemi, jossa PAM:ia annosteltiin 0,5 kg/t ja bentoniittia 2,0 kg/t.

PAM valmistettiin sakeuteen 0,5 % ja laimennettiin annostelusakeuteen 0,05 % tai tarvittaessa 0,025 %. Bentoniitti dispergoitiin sakeuteen 5 % ja laimennettiin annostelusakeuteen 0,5 % tai tarvittaessa 0,25 %. Kaikissa menetelmissä kemikaalien lisäyssekvenssi pidettiin vakiona. PAM lisättiin aina 30 s ennen ja bentoniitti 10 s ennen suotautumista tai sekoituksen lopettamista. Myös sekoitusnopeus pyrittiin pitämään kaikissa kokeissa samana (1500 rpm).

#### **10.4 Tehdyt määritykset**

Kaikki kokeissa käytetyt standardit on esitetty liitteessä 2. Arkeista tehtiin koelaitteesta riippuen seuraavia määrityksiä: viiraretentio, täyteaineretentio ja kuiva-ainepitoisuus. Märkä arkki punnittiin DDA-, sentrifugointi- ja MBF-menetelmissä heti suotautumisen jälkeen. Kuiva-ainepitoisuus saatiin arkin kuivapainon suhtena märkäpainoon standardin SCAN-C 3:61 mukaisesti. Täyteaineretention määrityksessä käytettävä arkin tuhkapitoisuus saatiin tuhkaamalla arkit muhveliuunissa standardin SCAN-C 6:62 mukaisesti. Standardista poiketen arkit tuhkattiin lämpötilassa 525°C, koska kalsiumkarbonaatti hajoaa korkeammissa lämpötiloissa. Täyteaineretentio määritettiin täyteaineellisista arkeista, jolloin saatiin tietää kuinka paljon täyteainetta jäi kuitumattoon. Viira- ja täyteaineretentio laskettiin arkin kuivapainon ja täyteainepitoisuuden perusteella liitteen 4 kaavoista.

Saadusta suodoksesta määritettiin sameus SR- ja DDA-kokeissa. Sameus mitattiin Novasina Analite 150-sameusmittarilla. Pelkkää sellua sisältävien massojen



suodoksista sameutta ei mitattu, koska suodoksen sameus näillä massoilla oli hyvin alhainen.

Hiokkeista tehtiin arkit standardin SCAN-C 26:76 mukaan massan lujuusominaisuuksien määrittämistä varten. Arkit testattiin veto- ja repäisyjuuuden osalta standardien SCAN-P 16:76 ja SCAN-P 11:96 mukaisesti. Kaikista massoista määritettiin hienoainepitoisuus menetelmän TAPPI T-261 mukaan.

Mittausten toistettavuus selvitettiin tekemällä SC-massan keskimmaisella kemikaalianostuksella kullakin menetelmällä viisi toistoa. Toistot tehtiin muilla paitsi MBDT:llä. MBDT:llä jokaisesta koepisteestä tehtiin vähintään 5 rinnakkaismäärittystä.

## **11 TULOSTEN TARKASTELU**

### ***11.1 Muuttujien vaikutus tuloksiin***

#### **11.1.1 Laitteet**

SR-kokeessa vedenpoisto tapahtuu painovoiman vaikutuksesta. DDA:lla suotautumispaine on suurempi kuin SR-testissä, koska DDA:lla vesi poistetaan vakuumin (20 kPa) avulla massasta, kunnes ilma alkaa virrata arkin läpi. Sentrifugoinnissa ja MBDT:llä vedenpoistoon vaikuttaa suurempia voimia, sentrifugoinnissa kierrosnopeudella 1000 rpm sentrifugointivoima oli 200 g ja MBDT:llä vakuumi oli 25 kPa. SR- ja DDA-testeissä koe käsittää pelkän initiaalisuotautumisvaiheen. MBDT:llä tulokset saatiin sekä initiaaliselle vedenpoistolle (imuaika 0 ms) että vakuumivedenpoistolle (vakuumi-tasolla 25 kPa). Eri menetelmien vedenpoistotapahtuma on erilainen, sen vuoksi menetelmät voivat asettaa massat eri järjestyksiin toisiinsa nähden.

### 11.1.2 Massat

Kirjallisuuden mukaan vedenpoisto on vaikeinta paljon hienoainetta sisältävästä mekaanisesta massasta, kun freeness on alhainen (40-45 CSF). Myös pitkälle jauhetusta kemiallisesta massasta, jonka SR-luku on 30-35, vedenpoisto on suhteellisen vaikeaa. Helpommin suotautuvia ovat vähän jauhetut hierrepohjaiset mekaaniset massat, esimerkiksi sanomalehtimassa (CSF 80-100). Veden poistaminen on helpointa vähän jauhetuista kemiallisista massoista, joiden SR-luku on alhainen (<25).

Tehdyissä kokeissa yleistäen voidaan sanoa, että kaikilla menetelmillä vesi saatiin parhaiten poistettua hienopaperimassasta. Hienopaperi sisältää paljon täyteainetta, joka sitoo vähemmän vettä kuin kuidut. Kevyemmin jauhetusta sellu 1:stä (SR 23) vesi poistui odotetusti paremmin kuin sellu 2:sta (SR 32) kaikilla muilla menetelmillä paitsi SR-kokeessa (aikavälillä 5-15 s poistunut vesimäärä), jossa sellujen järjestys vaihteli kemikaaliannostuksen myötä. SR-testissä kuitenkin poistuneen kokonaisvesimäärän perusteella sellu 1:n tulos oli parempi kuin sellu 2:n. Aikavälillä 5-15 s sellu 1:n huono tulos johtuu siitä, että jo ennen 5 s suuri osa vedestä oli ehtinyt poistua. Aikavälillä 5-15 s poistunut vesi antoi tässä tapauksessa hieman harhaanjohtavan alhaisen tuloksen. Yleisesti kokeissa sellujen vedenpoisto oli helpompaa kuin mekaanisten massojen. Tulokset eri laitteille on esitetty liitteessä 5.

SC-massan vedenpoisto oli helpompaa kuin hiokkeilla sen suuren täyteainepitoisuuden vuoksi. Hiokkeesta 1 (CSF 65) pitäisi veden poistua paremmin kuin hiokkeesta 2 (CSF 54), koska edellisen hienoainepitoisuus on jonkin verran pienempi. Erot hiokkeiden välillä eri mittausmenetelmillä olivat kuitenkin melko pieniä. DDA:lla hiokkeen 1 suotautumisnopeus oli parempi pieniä poikkeuksia lukuunottamatta, erityisesti 50°C:n lämpötilassa. Sentrifugoinnissa hiokkeen 1 vedenpoisto oli parempi kuivaainepitoisuuden perusteella. Myös SR-testissä hiokkeen 1 vedenpoiston voidaan kokonaisuudessaan sanoa olevan hioke 2:n vedenpoistoa parempi, vaikka korkeimmalla retentioaineen annostelutasolla hiokkeen 2 vedenpoisto nousi hioketta 1 korkeammalle tasolle. MBDT:llä hiokkeiden väliset erot olivat hyvin pieniä, eikä

tulosten perusteella voida sanoa kumman hiokkeen vedenpoisto on parempi. Syynä tähän voi olla hiokkeiden muodostaman kuitumaton rakenteen samankaltaisuus.

### 11.1.3 Retentioaineet

Tuotantopaperikoneella viiraretentio on parhaimmillaan noin 80 % ja täyteaineretentio 50 % luokkaa. MBDT:llä saadut retentiot ovat jonkin verran korkeampia. Täyteaineellisilla massoilla viiraretentio oli parhaimmillaan 89 % ja täyteaineretentio 54 %. Sellujen retentiot olivat MBDT:llä yli 90 % ja hiokkeitten 85 % ilman retentioaineita. Näissä massoissa oli vähän hienoainetta, jolloin mekaaninen retentio on pääasiallinen retentiomekanismi, eikä kemikaaleilla voida suuressa määrin parantaa retentiota. Täyteaineellisilla massoilla retentio MBDT:llä ilman retentioainetta oli suhteellisen alhainen, SC-massalla 62-65 % ja hienopaperilla 69-71 %. Hienopaperin täyteaineretentio oli hyvin alhainen, noin 3 %, ilman retentioaineiden käyttöä. SC:llä vastaava luku on noin 16 %. Hienopaperilla alhainen täyteaineretentio johtuu täyteaineena käytetyn kalsiumkarbonaatin partikkelikoosta ja muodosta. Kalsiumkarbonaatti-partikkelit ovat kaoliinipartikkeleita pienempiä ja muodoltaan pyöreitä, jolloin niiden retentoituminen mekaanisesti on hyvin vähäistä. Retentioaineiden avulla SC-massan retentio saatiin nostettua 77 %:iin ja hienopaperin 89 %:iin. Retentioaineen vaikutus oli hienopaperilla selvästi suurempi. Syynä tähän on, että retentioaineet parantavat suhteellisesti eniten pienten partikkelien retentoitumista. Mikropartikkelisysteemin muodostaman verkstorakenteen pitäisi teoriassa pidättää polyakryyliamidien aikaansaamaa rakennetta paremmin pieniä partikkeleita. Hienopaperilla saatujen täyteaineretenttioiden perusteella näin on käynyt.

MBDT:n tulosten perusteella retentiot mekaanisilla massoilla olivat keskimäärin korkeimmillaan korkeimmalla retentioaineen annostelutasoilla (0,6 kg/t). Annostelun optimitasoa ei siis todennäköisesti ylitetty tai se oli 0,6 kg/t luokkaa. Retentioaineen annostelumäärän kasvattaminen yli optimitason ei juuri paranna retentiota, koska tällöin kemikaalilla ei ole enää paikkoja kiinnittyä kuituihin tai täyteainepartikkeleihin. Täyteaineellisilla massoilla arkin retentio ja vedenpoisto (kuiva-ainepitoisuus) paranivat kemikaaliannostuksen kasvaessa. SC-massalla parannus 0,3 kg/t ja 0,6 kg/t



annostasojen välillä oli pieni. Selluilla paras vedenpoisto MBDT:llä saavutettiin ilman retentioaineita, jolloin saatiin hieman korkeampi kuiva-ainepitoisuus arkeille. Retentioaine muuttaa arkin rakennetta ja vaikuttaa sitä kautta arkin kuiva-ainepitoisuuteen. Retentioaineen läsnäollessa sellujen pitkät kuidut muodostavat suuria flokkeja tarttuessaan toisiinsa. Suuret flokit sitovat vettä, jolloin arkkin kuiva-ainepitoisuus jää alhaisemmaksi.

Paperikoneilla kationisen PAM:n ja bentoniitin yhdistelmällä on saavutettu etuja vedenpoistossa. Mikropartikkelisysteemi näytti MBDT:llä vaikuttavan edullisesti tyhjövedenpoistoon, kun sulpussa oli paljon hienoainetta. Hienopaperilla mikropartikkelisysteemi antoi selvästi paremman tuloksen pelkkään kationiseen polymeeriin verrattuna. Kirjallisuuden mukaan mikropartikkelisysteemillä syntyy huokoisempi arkin rakenne ja flokit ovat kooltaan pienempiä, jolloin saavutetaan korkeampi kuiva-ainepitoisuus viiran jälkeen. MBDT:n 250 ms imuajan jälkeen kuiva-ainepitoisuus hienopaperilla oli mikropartikkelisysteemiä käyttäen parempi kuin pelkän kationisen polymeerin vaikutuksesta.

DDA:lla suotautumisnopeus pieneni ja sameus laski kemikaaliannoksen kasvaessa pieniä poikkeuksia lukuunottamatta. SR-testissä poistunut vesimäärä kasvoi kemikaaliannoksen kasvaessa. Molemmissa mittauksissa mekaanisilla massoilla saatiin huomattavasti parempi tulos 50°C:n lämpötilassa kuin huoneenlämpötilassa. Tulokset ovat loogisia, koska lämpötilan vaikutus suotautumiseen on suuri erityisesti mekaanisilla massoilla, ja suotautumisnopeus ja retentio paranevat kemikaalien vaikutuksesta. Suotautuminen nopeutuu lämpötilan noustessa veden viskositeetin ja pintajännityksen alentuessa. Sentrifugoinnissa tulokset eivät olleet yhtä selkeitä kuin DDA:lla ja SR-kokeessa kemikaaliannoksen osalta, mutta yleisesti kemikaalin käytöllä saavutettiin korkeampi kuiva-ainepitoisuus kuin ilman kemikaalia.

Tehdyissä kokeissa bentoniitin vaikutus vedenpoistoon jäi SR-testissä ja sentrifugoinnissa vähäiseksi. Syynä voi olla se, että SR-kokeessa ja sentrifugoinnissa viive bentoniitin lisäyksen jälkeen ennen suotautumista oli suhteellisen pitkä (SR-kokeessa 15-20 s ja sentrifugoinnissa 15 min). Bentoniitin retentiota parantava

vaikutus voi olla melko lyhytaikainen, minkä jälkeen retentio saattaa laskea ennen bentoniitin lisäystä olleelle tasolle tai hieman sen alle.

DDA:lla mikropartikkelisysteemi paransi suotautumisnopeutta selluilla. Hienopaperilla retention parantuessa paksumpi arkki aiheutti kuitenkin suotautumisnopeuden hidastumisen suotautumisvastuksen kasvaessa. Neliömassoilla jaettaessa hienopaperillakin saavutettiin paras tulos mikropartikkelisysteemiä käyttäen. Mikropartikkelisysteemi toimi hyvin DDA:lla, koska suotautuminen tapahtui automaattisesti 10 s bentoniitin lisäyksen jälkeen, eikä retentio ehtinyt laskea.

## **11.2 Vertailuparametrien valinta**

Tulosten tarkastelu aloitettiin MBDT:n tuloksista. Tarkoitus oli selvittää, minkä asioiden mukaan MBDT:n tuloksia pitäisi katsoa, että massojen välille saataisiin eroja. Vaihtoehtoina oli kunkin pisteen loppullinen kuiva-ainepitoisuus (imuaajoilla 0, 25 ms ja 250 ms), kuiva-ainepitoisuuden muutos imuaikojen välillä (välillä 0-25 ms, 0-250 ms tai 25-250 ms) tai jokin edellä mainituista jaettuna neliömassalla. Eri tarkastelutavoilla kaikki koepisteet indeksoitiin välille 0-100 yksikköä ja katsottiin, millä tavalla saatiin hajontaa pisteiden välille.

MBDT:llä neliömassalla jaettu kuiva-ainepitoisuuksien erotus imuaajoilla 25 ms ja 0 ms sekä 250 ms ja 0 ms antoivat parhaan tuloksen, siis jakautuivat tasaisimmin pienimmän ja suurimman arvon välille. Näistä valittiin jälkimmäinen yhdeksi kokeiltavista vertailusuureista. Vertailujoukoksi otettiin myös perinteisempi lähestymistapa, 250 ms imuajan jälkeinen kuiva-ainepitoisuus tai tämä jaettuna neliömassalla. Näitä tulostjoukkoja käytetään vertailukohtana kolmelle muulle menetelmälle selvitettäessä löytyykö jollakin niistä korrelaatiota mittausmenetelmien välille.

Arkin kuiva-ainepitoisuuden jakaminen arkin neliömassalla voi olla edullista tulosten tarkastelun kannalta. Tulosten jakamista neliömassalla on käyttänyt myös Sutman /64/ tarkastellessaan laboratoriolaitteella saatuja tuloksia vedenpoistosta. MBDT:llä tulokset jakautuvat neliömassalla jaettuna tasaisesti tietylle välille, mutta tulosten

vaihteluvälin suuruus pienenee. Tulosten jakautumisväli pienenee neliömassalla jaettaessa, koska kemiallisten massojen kuiva-ainepitoisuudet ovat suurempia kuin mekaanisten massojen, mutta ne myös jaetaan suuremmalla neliömassalla. Neliömassalla jakaminen voi kuitenkin olla hyödyllistä, kun tarkastellaan kemiallisia ja mekaanisia massoja omina ryhminään.

Mekaaniset massat käyttäytyvät vedenpoiston suhteen eri tavoin kuin kemialliset massat, siksi tarkasteluja tehdään mekaanisilla massoilla ja selluilla omina ryhminään. Korrelaatio mittausten välillä voi myös löytyä vain jollakin massatyypillä. Yhtenä ryhmänä tarkastellaan täyteaineellisia massoja ja selvitetään niiden korrelaatioita mittausten välillä. Yhtenä mahdollisuutena on myös selvittää, löytyykö korrelaatiota mittausten välillä, kun kemikaaleja ei ole käytetty. Lopuksi selvitetään, löytyykö korrelaatiota, kun vertailuja tehdään SR-testin ja DDA:n välillä, DDA:n ja sentrifugoinnin välillä ja SR-testin ja sentrifugoinnin välillä.

Mittausmenetelmiä vertailtiin piirtämällä kahden menetelmän tulosten perusteella kuvaaja, johon piirretyn regressiosuoran perusteella lasketaan tuloksille korrelaatiokerroin  $R^2$ . Korrelaatiokertoimen perusteella voidaan arvioida tulosten korrelaatiota. Korrelaatiokerroin ilmoittaa korrelaation määrän.  $(1-R^2)$  ilmaisee tuloksissa olevan kohinan osuuden. Korrelaatiokertoimille laskettiin myös 95 %:n luottamusvälit.

### **11.3 MBDT verrattuna DDA:iin**

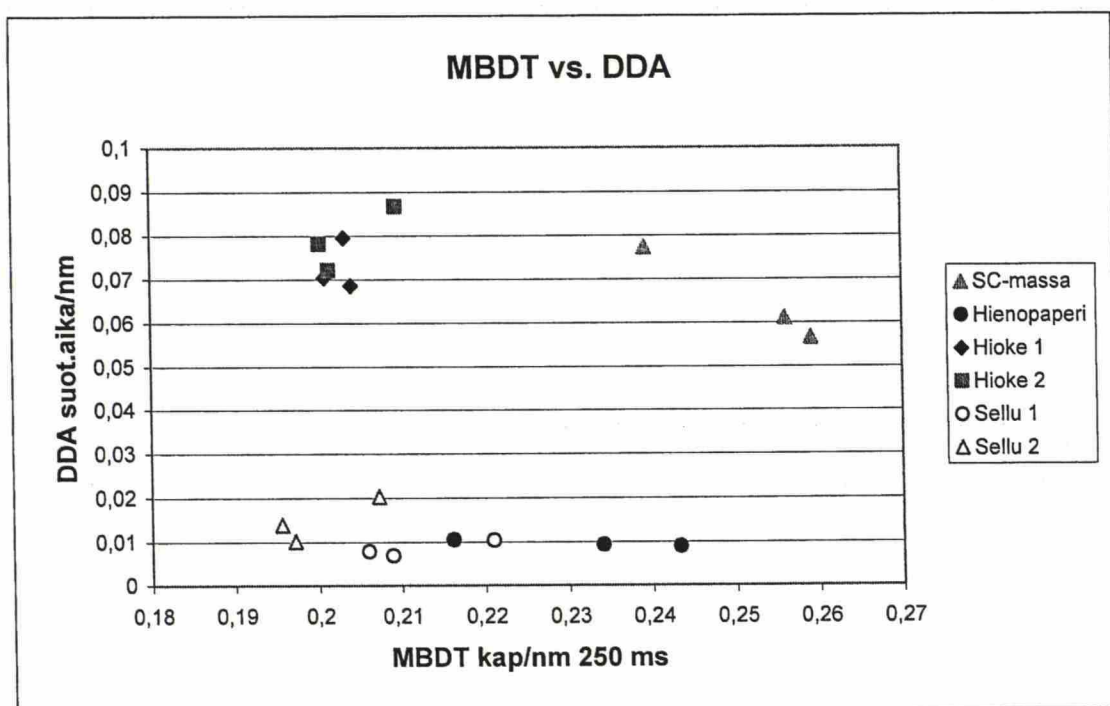
DDA:lla mitattiin näytteen suotautumisenopeutta. Mekaanisilla massoilla on 4 eri tulosjoukkoa, joita voidaan käyttää vertailussa, koska kokeet tehtiin niillä kahdessa eri sakeudessa (2,5 g/l ja 4,0 g/l) ja kahdessa eri lämpötilassa (20°C ja 50°C). Tuloksia vertailtaessa huomattiin, että pienemmässä sakeudessa ja korkeammassa lämpötilassa mitatut tulokset antavat parhaat korrelaatiot. Tätä tulosjoukkoa on käytetty seuraavissa tarkasteluissa. Tulokset on esitetty liitteessä 5.



MBDT:n ja DDA:n välistä korrelaatiota selvitetiin piirtämällä eri massojen osalta erilaisia kuvaajia. DDA:n tuloksista kokeiltiin suotautumisaikaa ja märän arkin kuiva-ainepitoisuutta sekä edellisiä jaettuna saadun arkin neliömassalla. MBDT:n osalta tehtiin vertailuja imuajan 250 ms jälkeisellä kuiva-ainepitoisuudella ja imuaikojen 0 ja 250 ms välisten kuiva-ainepitoisuuksien erotuksella, sekä jakamalla edelliset arvot neliömassalla. Imuaikojen 0 ja 250 ms välisten kuiva-ainepitoisuuksien erotuksella saatiin hyvin samanlaisia tuloksia kuin imuajan 250 ms jälkeistä kuiva-ainepitoisuutta käyttäen. Seuraavat tarkastelut on tehty 250 ms imuajan jälkeistä kuiva-ainepitoisuutta käyttäen

### 11.3.1 Kuiva-ainepitoisuus (MBDT) vrt. suotautumisaika (DDA) neliömassoilla jaettuina

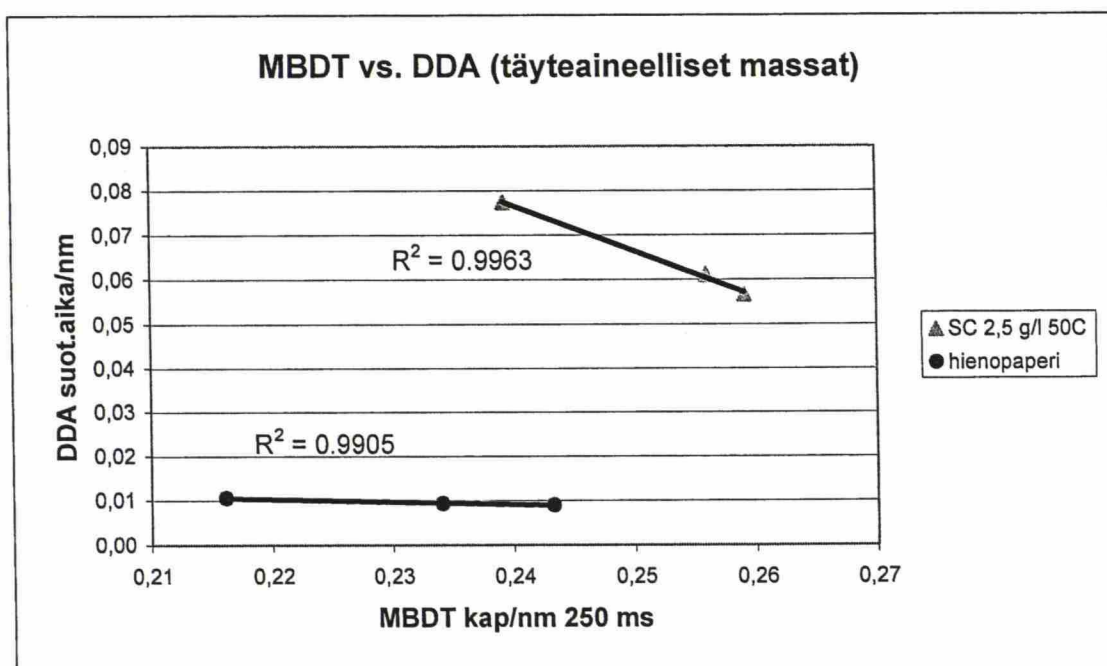
Korrelaatioita menetelmien välillä etsittiin vertailemalla MBDT:n neliömassalla jaettua kuiva-ainepitoisuutta neliömassalla jaettuun suotautumisaikaan DDA:lla. Kuvassa 26 on esitetty vertailu MBDT:n ja DDA:n välillä kaikilla massoilla.



Kuva 26. MBDT:n ja DDA:n vertailu. Kuiva-ainepitoisuus ja suotautumisaika on jaettu arkin neliömassalla. DDA:n tuloksista mekaanisista massoista sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 50 °C tehdyt mittaukset.

Kuvasta 26 nähdään, että MBDT:n ja DDA:n välillä ei ole yleistä korrelaatiota, kun verrataan neliömassalla jaettua suotautumisaikaa neliömassalla jaettuun kuiva-ainepitoisuuteen. Mekaaniset massat (hiokkeet ja SC-massa) sijoittuvat omaksi ryhmäkseen ja kemialliset massat (sellut ja hienopaperi-massa) omakseen. DDA:n tulosten perusteella kemialliset ja mekaaniset massat jakautuvat omiin ryhmiinsä, mutta MBDT:llä massat eivät muodosta eri ryhmiä, vaan jakautuvat samalle välille. Tämä johtuu siitä, että mekaanisten massojen ja sellujen neliömassa oli MBDT:llä erilainen ja neliömassalla jakaminen aiheuttaa tulosten sekoittumisen ja jakautumisen suhteellisen pienelle välille. Tilannetta voisi selventää vertaamalla suotautumisaikaa MBDT:n kuiva-ainepitoisuuteen.

Täyteaineellisilla massoilla korrelaatio on hyvä, kun tulokset on jaettu arkin neliömassalla. Erityisesti DDA:lla, koska siinä arkin neliömassa ei ole vakioitu, vaan massan annostelu pysyy vakiona. Hienopaperilla retention parantuessa DDA:lla arkista tulee huomattavasti painavampi kemikaaliannoksen kasvaessa. Suotautumisnopeus hidastuu, koska paksumpi arkki aiheuttaa korkeamman suotautumisvastuksen. Jos neliömassa pidettäisiin vakiona, kuten MBDT:ssä, suotautumisaika todennäköisesti pienenesi käytetyillä kemikaaliannoksilla annoksen kasvaessa. Suotautumisajan jakaminen neliömassalla vähentää tämän ilmiön vaikutusta, kuten kuvasta 27 nähdään. Täyteaineelliset massat, SC ja hienopaperi, asettuvat hyvin lineaarisesti verrattaessa MBDT:n ja DDA:n tuloksia. Korrelaatiokertoimet ovat SC:lle 0,9963 ja hienopaperille 0,9905. Menetelmät korreloivat hyvin kyseisten massojen osalta, vaikka tällä tavoin tarkasteltuna yleinen korrelaatio menetelmien välillä puuttuu.

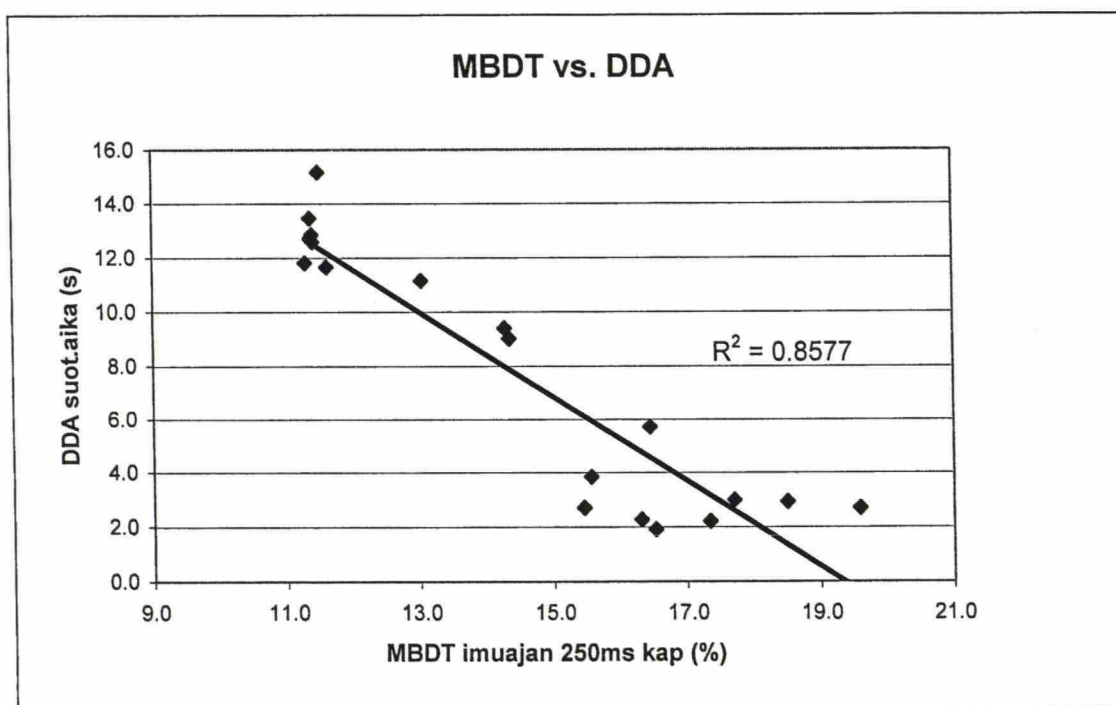


Kuva 27. MBDT:n ja DDA:n vertailu täyteaineellisilla massoilla. SC-massan tulokset DDA:lla mitattu lämpötilassa 50 °C ja sakeudessa 2,5 g/l.

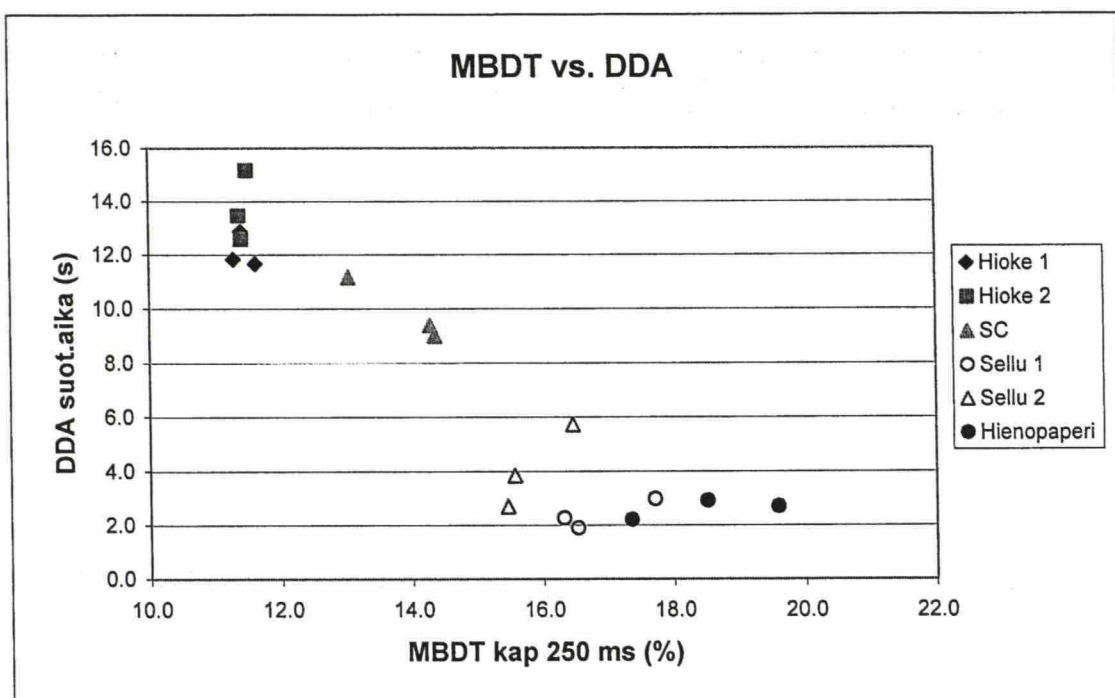
### 11.3.2 Kuiva-ainepitoisuus (MBDT) vrt. suotautumisaika (DDA)

Neliömassoilla jaettujen tulosten antama yleinen korrelaatio ei ollut hyvä MBDT:n ja DDA:n välillä. Tarkastelua jatkettiin vertaamalla MBDT:n kuiva-ainepitoisuutta ja DDA:n suotautumisaikaa. Kuvissa 28 ja 29 on esitetty vertailu, jossa MBDT:n kuiva-ainepitoisuutta verrataan DDA:n suotautumisaikaan.





Kuva 28. MBDT:n kuiva-ainepitoisuus verrattuna DDA:n suotautumisaikaan. DDA:lla mekaanisista massoista mukana sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 50 °C tehdyt mittaukset.



Kuva 29. MBDT:n kuiva-ainepitoisuus verrattuna DDA:n suotautumisaikaan. DDA:n tuloksista mekaanisista massoista mukana sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 50 °C tehdyt mittaukset.

Kuvista 28 ja 29 nähdään, että korrelaatio mittausmenetelmien välillä on huomattavasti parempi, kun tuloksia ei ole jaettu neliömassalla. Korrelaatio on negatiivinen eli

suotautumisajan pienentyessä DDA:lla arkin kuiva-ainepitoisuus kasvaa MBDT:llä. Korrelaatiokerroin on 0,8577 kaikki pisteet mukaanlukien ja 95 % luottamusvälit korrelaatiokertoimelle ovat 0,652-0,946. Korrelaatio näin vertailtuna MBDT:n ja DDA:n välillä on kohtuullinen.

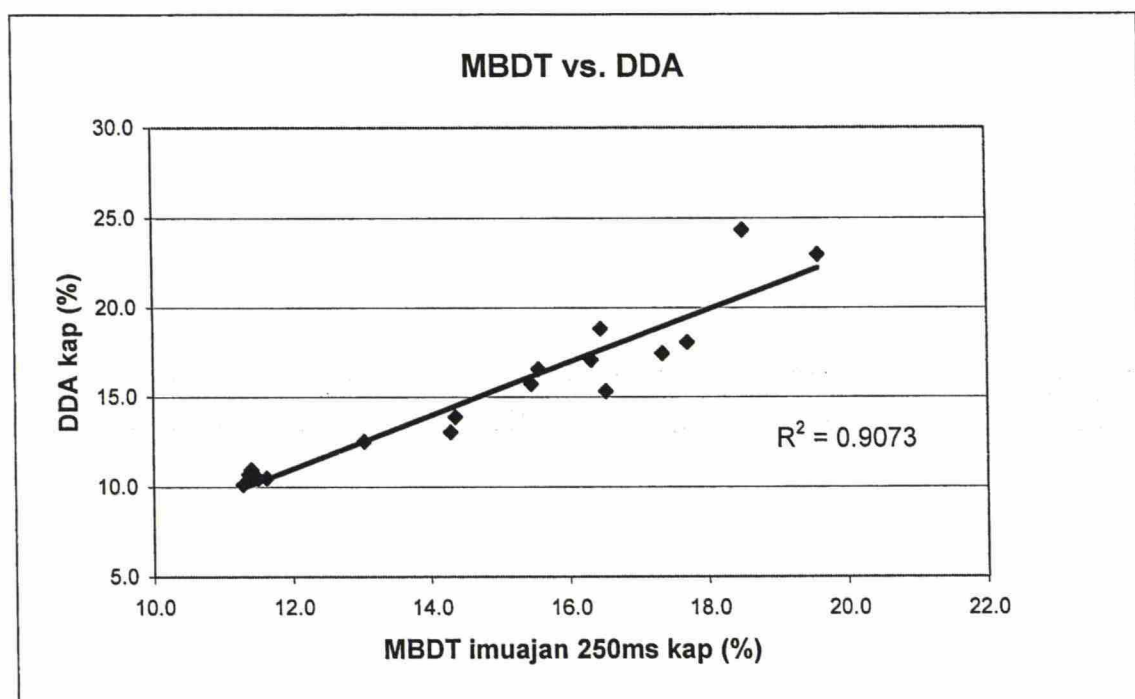
Täyteaineelliset massat sopivat melko hyvin kuvan 29 koepisteiden muodostamalle suoralle. Hienopaperimassalla korkeimman kemikaaliannoksen piste poikkeaa kuitenkin suoran linjasta. Tämä johtuu siitä, että DDA:n suotautumisaika hidastui parantuneen retention aiheuttaman arkin neliömassan huomattavan kasvun ja sitä kautta suotautumisvastuksen kasvun myötä.

Sellut näyttävät kuvan 29 mukaan osittain poikkeavan suoralta, jolle muut pisteet asettuvat. Molemmilta selluilta koepisteet ilman kemikaalia näyttävät kuitenkin asettuvan suoralle. Selluilla syynä poikkeamaan suoralta on DDA:n ja MBDT:n vakuumivaiheen erilaiset olosuhteet. DDA:lla sellujen suotautumisaika pienenee, eli vedenpoisto paranee kemikaaliannoksen kasvaessa. MBDT:llä arkin kuiva-ainepitoisuus nousee eli vedenpoisto huononee kemikaaliannoksen kasvaessa. MBDT:llä kuiva-ainepitoisuudet laskevat kemikaaliannoksen kasvaessa selluilla, koska kemikaalien vaikutuksesta muodostuvat suuret flokit sitovat paljon vettä. MBDT:llä sellujen vakuumivedenpoisto oli parhaimmillaan ilman kemikaaleja ja huononi kemikaalilisäyksen aiheuttaman arkin rakenteen muutoksen seurauksena. Lisäksi DDA:lla selluille saadut hyvin lyhyet suotautumisajat voivat aiheuttaa virhettä, koska ajat ovat huomattavasti lyhyempiä kuin DDA:n optimaalisella toiminta-alueella.

Mekaanisilla massoilla kemikaalit näyttävät vaikuttavan hyvin vähän MBDT:llä saavutettavaan kuiva-ainepitoisuuteen. Flokkien vettä sitova vaikutus voi vaikuttaa tuloksiin, koska retentioaineet eivät näytä parantavan kuiva-ainepitoisuutta. Mekaanisilla massoilla arkin rakenne ei kuitenkaan muutu retentioaineen vaikutuksesta yhtä paljon kuin pitkäkuituisilla ja vähemmän hienoainetta sisältävillä selluilla, eikä huomattavaa vaikutusta tyhjövedenpoistoon ole. DDA:lla suotautumisaika kuitenkin lyhenee mekaanisilla massoilla kemikaaliannoksen kasvaessa. Nämä menetelmien väliset erot huonontavat korrelaatiota menetelmien välillä.

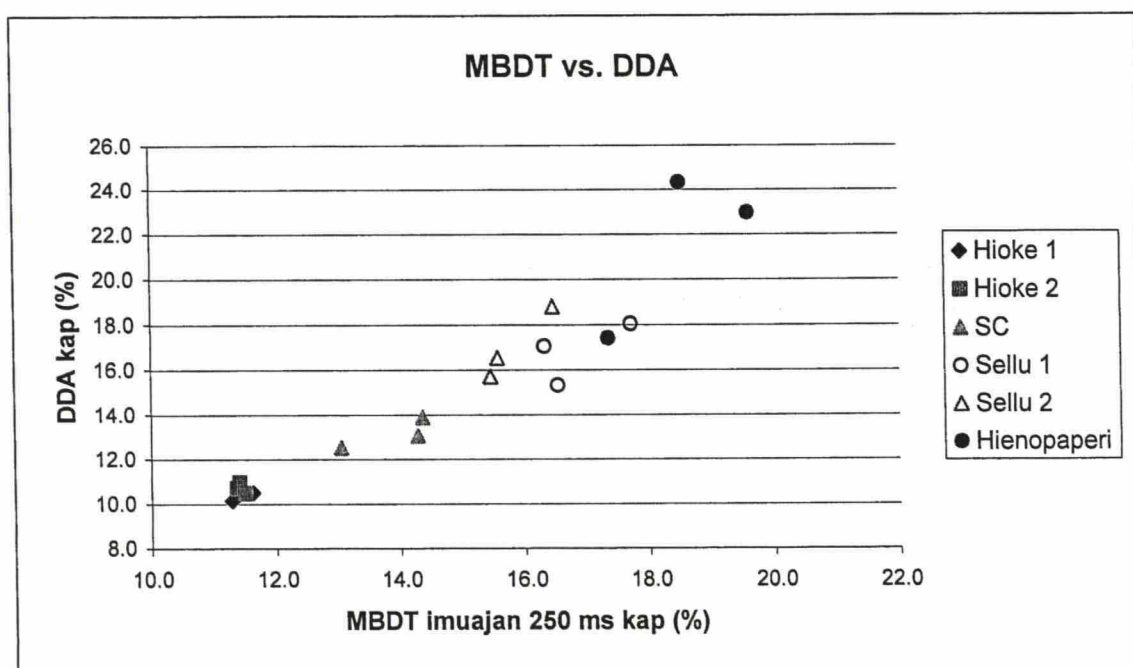
### 11.3.3 Vertailuparametreina kuiva-ainepitoisuudet (MBDT ja DDA)

DDA:lla saatiin tulokseksi suotautumisaikojen lisäksi myös määrän arkin kuiva-ainepitoisuus. DDA:lla saatuja kuiva-ainepitoisuuksia verrattiin MBDT:llä saatuihin kuiva-ainepitoisuuksiin. Mekaanisilta massoilta on käytetty sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 20°C tehdyt mittaukset, koska korkeammassa lämpötilassa puuttui joitakin tuloksia kuiva-ainepitoisuuksien osalta. Korrelaatio-suora kaikille massoille on esitetty kuvassa 30 ja eri massojen osuudet kuvassa 31.



Kuva 30. MBDT:n arkin kuiva-ainepitoisuuden DDA:n arkin kuiva-ainepitoisuuden välinen korrelaatio. Mekaanisista massoista DDA:lla sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 20 °C tehdyt mittaukset.





Kuva 31. MBDT:n arkin kuiva-ainepitoisuus verrattuna DDA:n arkin kuiva-ainepitoisuuteen. Mekaanisista massoista DDA:lla 2,5 g/l sakeudessa ja 20°C lämpötilassa tehdyt mittaukset.

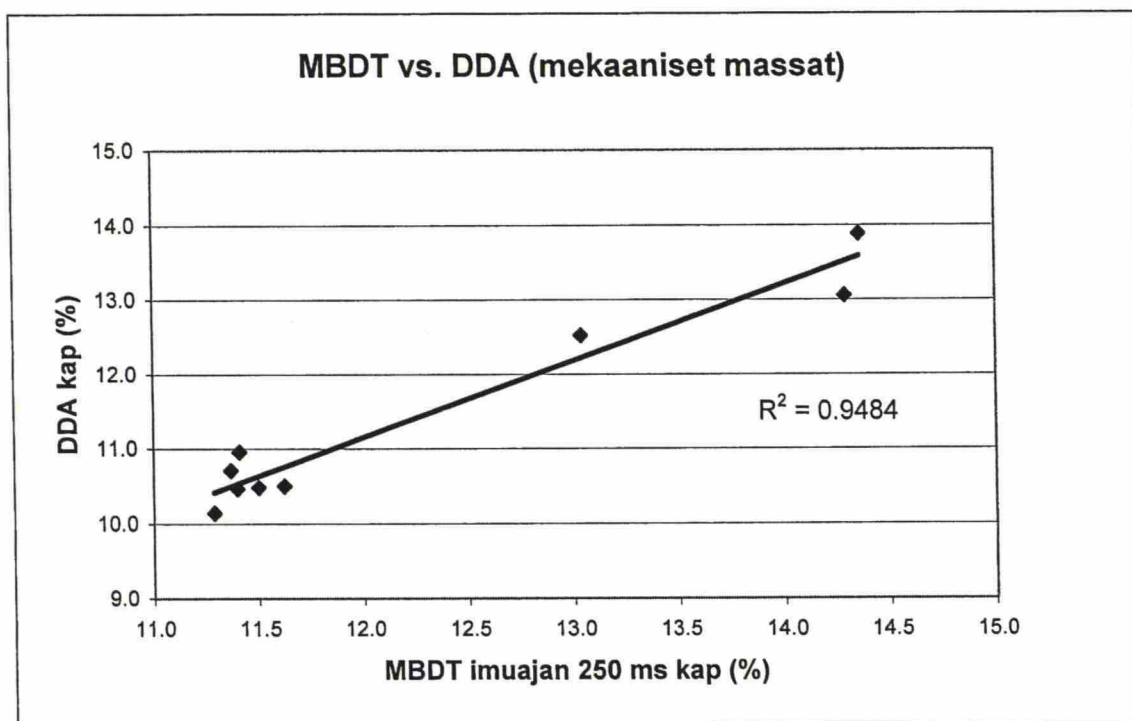
Saatu korrelaatio on tällä tarkastelutavalla melko hyvä. Korrelaatiokerroin on kuvan 30 mukaan 0,9073, joka on välillä 0,8379-0,9770 95 % todennäköisyydellä. Kuvasta 31 nähdään, että MBDT ja DDA asettavat massat melko hyvin samaan järjestykseen, kun kuiva-ainepitoisuuksia verrataan toisiinsa. Täyteaineellisille massoille omana ryhmänään laskettu korrelaatiokerroin 0,9051, on yhtä hyvällä tasolla kuin kaikille massoille yhteensä saatu korrelaatiokerroin.

Paras korrelaatio vertailtaessa MBDT:n ja DDA:n tuloksia saadaan siis käyttämällä molemmista menetelmistä määrän arkin kuiva-ainepitoisuutta tarkasteluparametrina. Syynä tähän on, että arkin kuiva-ainepitoisuus käyttäytyy kemikaaliannoksen kasvaessa eri tavoin kuin suotautumisaika. Suotautumisaikat pienenevät kemikaaliannoksen kasvaessa DDA:lla. Täyteaineellisia massoja lukuunottamatta kemikaalilisäys MBDT:llä ei parantanut arkin kuiva-ainepitoisuutta edes imuajalla 0 ms. Todennäköisesti kemikaalien käytön myötä syntyvät flokit sitovat itseensä vettä, jolloin kuiva-ainepitoisuus MBDT:llä jää alhaisemmaksi kuin ilman kemikaaleja. Sama ilmiö nähdään myös DDA:lla mitatuissa kuiva-ainepitoisuuksissa. Lisäksi MBDT:llä tyhjövedenpoistoa heikentää arkin rakenteen muuttuminen huokoisemmaksi kemikaalien vaikutuksesta.

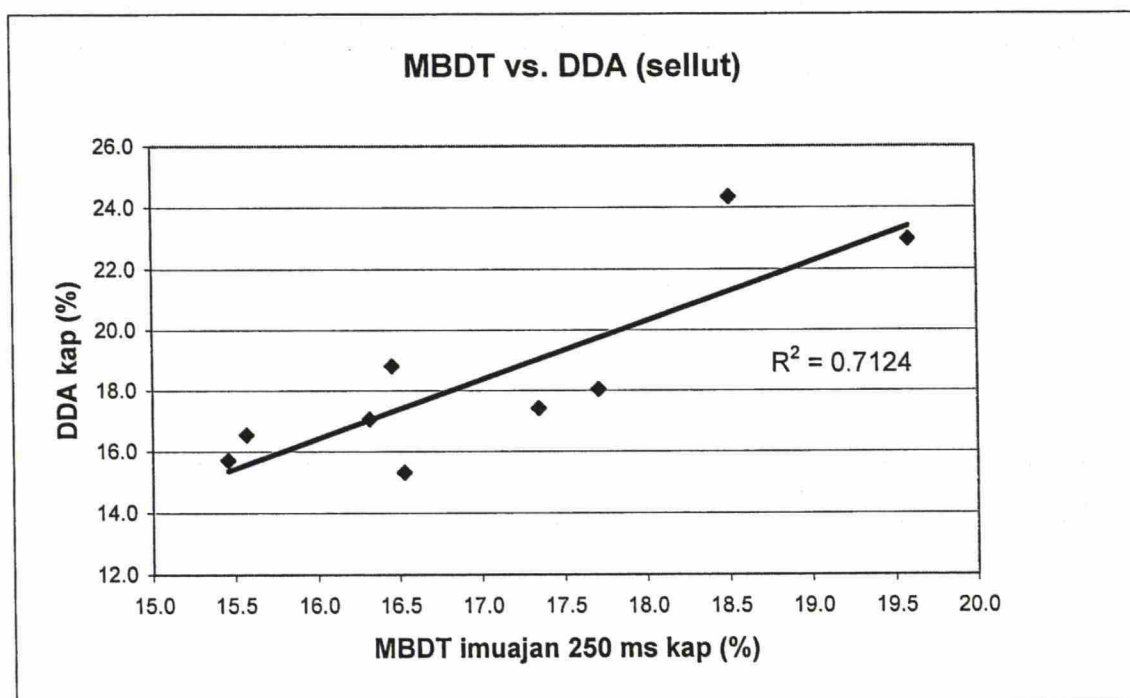
Forsbergin ja Bengtsonin /6/ mukaan DDA:lla saadun arkin kuiva-ainepitoisuus kokeen jälkeen korreloi kohtuullisen hyvin paperikoneen rainan kuiva-ainepitoisuuden kanssa ennen puristusta. Myös MBDT:n kuiva-ainepitoisuuksien on todettu korreloivan paperikoneella saatuihin kuiva-ainepitoisuuksiin. Näiden perusteella on loogista, että MBDT:n ja DDA:n arkkien kuiva-ainepitoisuuksien välillä on hyvä korrelaatio.

Yleisesti korrelaatiota saattaa huonontaa mittausvirhe DDA:n kuiva-ainepitoisuuden osalta. Virhettä syntyi kuiva-ainepitoisuuden määrittämisessä, koska DDA-laitteesta arkki oli hankala poistaa ilman että vettä tippui arkin päälle laitetta avattaessa. Peruskorrelaatio oli menetelmien välillä tästä huolimatta hyvä.

Mekaanisia ja kemiallisia massoja vertailtiin myös omina ryhminään. Kuvien 32 ja 33 perusteella nähdään, että mekaanisten massojen osalta korrelaatio on parempi kuin kemiallisilla massoilla. Mekaanisilla massoilla korrelaatio on hyvä ja korrelaatiokerroin on 0,9484. Selluilla mittaustuloksissa on enemmän hajontaa, korrelaatiokerroin on 0,7124. Hiokkeiden koepisteiden väliset erot ovat pieniä sekä MBDT:llä että DDA:lla, eikä hiokemassojen välillä ole selkeää eroa. Selluilla pisteiden välillä on enemmän eroja mutta erot eivät ole samanlaisia MBDT:llä ja DDA:lla, mikä huonontaa korrelaatiota.



Kuva 32. MBDT:n ja DDA:n arkkien kuiva-ainepitoisuuksien välinen korrelaatio mekaanisilla massoilla. Mekaanisista massoista DDA:n osalta käytetty sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 20 °C tehdyt mittaukset.



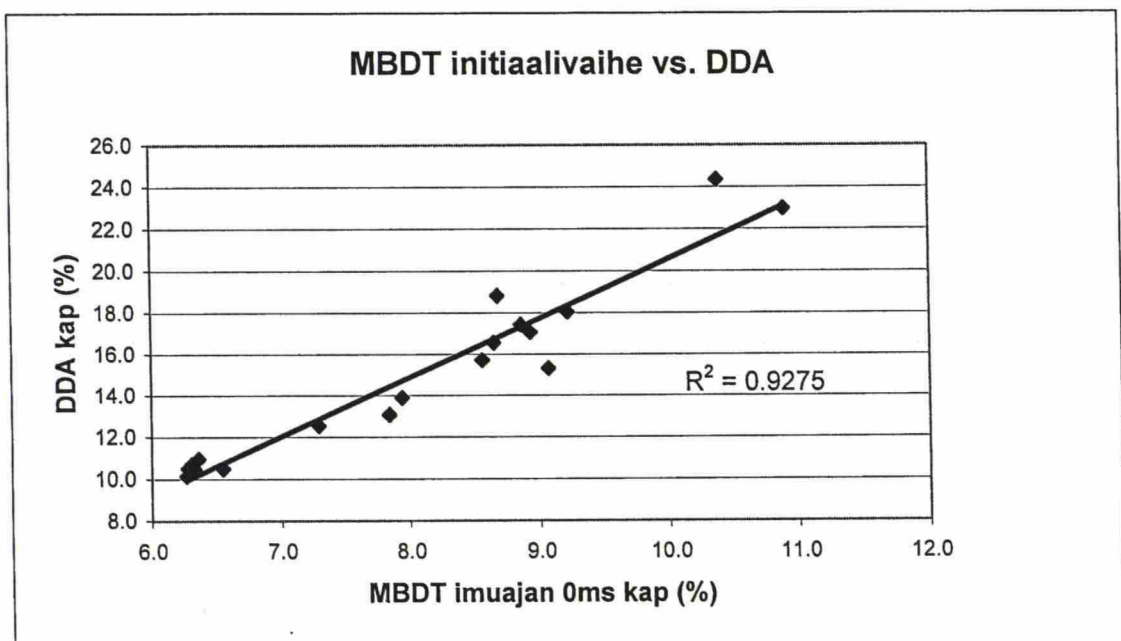
Kuva 33. MBDT:n ja DDA:n arkkien kuiva-ainepitoisuuksien välinen korrelaatio kemiallisilla massoilla.



#### 11.3.4 MBDT:n initiaalivehi verrattuna DDA:iin

DDA:n tuloksia verrattiin myös MBDT:n initiaalivehiin, eli saatuihin kuiva-ainepitoisuuksiin imuajalla 0 ms. Molemmat mittaukset kuvaavat massan initiaalista suotautumista ja niiden välillä pitäisi teoriassa olla korrelaatio. Initiaalisuotautumisen osalta esitetään vertailu DDA:n kuiva-ainepitoisuutena verrattuna MBDT:n kuiva-ainepitoisuuteen, koska muilla vertailutavoilla saatiin huomattavasti huonompi korrelaatio menetelmien välillä.

Korrelaatio on kuvan 34 perusteella melko hyvä, kun korrelaatiokerroin on 0,9275. 95 % luottamusvälit korrelaatiokertoimelle ovat 0,8124 ja 0,9730. MBDT:n initiaalivehiin pitäisi korreloida DDA-mittauksen kanssa, koska molemmissa suotautumistapahtuma on samankaltainen. Korrelaatio oli kuitenkin MBDT:n imuajan 250 ms jälkeisen kuiva-ainepitoisuuden ja DDA:n välillä vain hieman heikompi kuin DDA:n ja MBDT:n initiaalivehiin välillä ( $R^2=0,9073$ ). Initiaalivehiin parempi korrelaatio johtuu pääasiassa sellujen paremmasta korrelaatiosta MBDT:n initiaalivehiin ja DDA:n tulosten kanssa. Vakuuminvaiheessa MBDT:llä sellujen vedenpoisto huononee selvästi kemikaaliannoksen myötä, mutta ilman vakuumia sellujen vedenpoisto ei muutu yhtä paljon kemikaalien käytön myötä.



Kuva 34. MBDT:n initiaalivehiin kuiva-ainepitoisuus verrattuna DDA:n kuiva-ainepitoisuuteen. Mekaanisilta massoilta DDA:lla sakeudessa 2,5 g/l ja 20 °C:ssä tehdyt mittaukset.

## 11.4 MBDT verrattuna SR-menetelmään

SR-menetelmällä saatiin kuvaaja suodoksen kertymisestä ajan funktiona. Kuvaajan perusteella on olemassa monia vaihtoehtoja, joiden mukaan menetelmää voi tarkastella. Esimerkkejä näistä ovat poistunut kokonaisvesimäärä, tietyssä ajassa poistunut vesimäärä, tietyllä aikavälillä poistunut vesimäärä ja aika, jossa tietty määrä vedestä on poistunut. Kaikki edellä mainitut arvot voi vielä jakaa saadun arkin neliömassalla. Esimerkit eri massoille saaduista kuvaajista ja kuvaajien perusteella lasketut arvot on esitetty liitteessä 5.

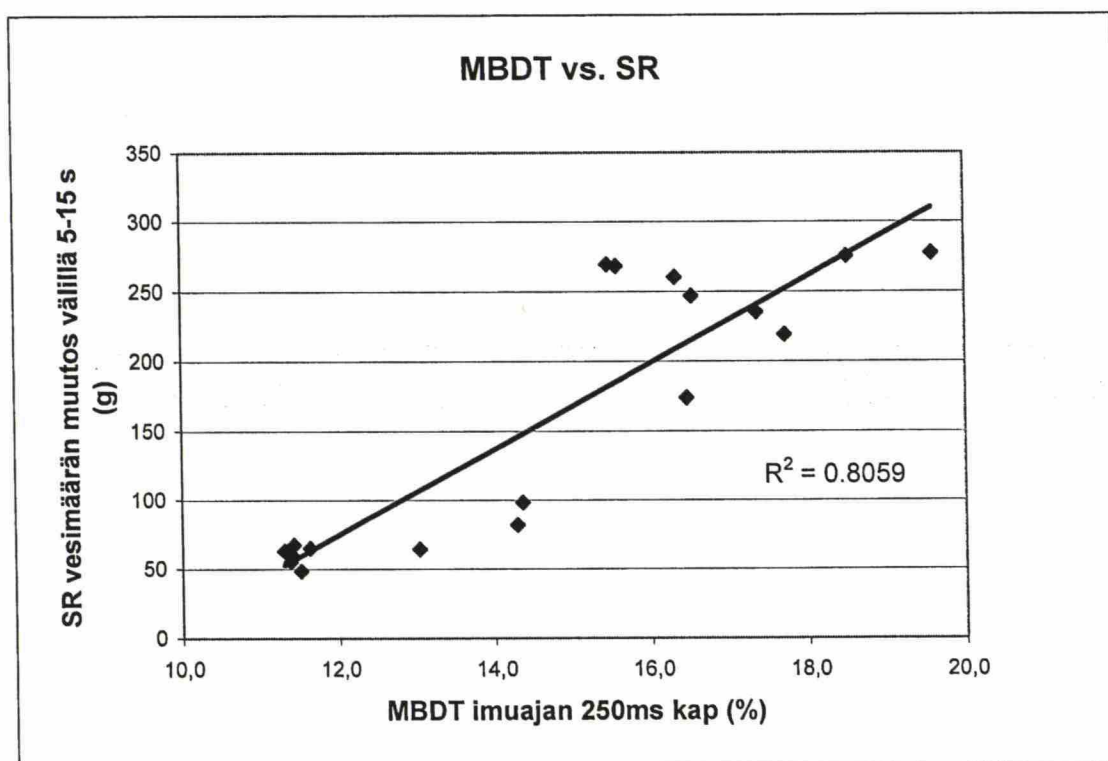
SR-koe lopetettiin, kun veden tulo hidastui tipoitaiseksi, jolloin poistunutta kokonaisvesimäärää ei voida tarkasti määrittää. Tällöin myös aika, jossa 60 % vedestä poistuu, jää epätarkaksi. Eri aikaväleillä poistunutta vesimäärää tarkasteltaessa huomataan, että aikavälillä 15-30 sekuntia sellujen vedenpoisto vaikuttaa huonontuvan muihin tarkastelutapoihin verrattuna. Syynä on sellujen nopea vedenpoisto, jolloin suurin osa vedestä on jo ehtinyt poistua aikaisemmassa vaiheessa. Vertailuparametriksi valittiin tämän vuoksi aikaväli 5-15 sekuntia.

SR-testin ja MBDT:n välinen korrelaatio oli parempi, kun vertailussa käytettiin mekaanisille massoille 20°C:ssa saatuja tuloksia. Mittaustulokset SR:llä 20°C ja 50°C lämpötiloissa ovat hyvin samansuuntaisia, mutta muutokset korkeammassa lämpötilassa pisteestä toiseen ovat jyrkempiä. SR-testissä hiokkeiden tuloksien vaihteluväli on selvästi suurempi korkeammassa lämpötilassa, tulokset 50°C:ssa ovat välillä 50–90 g ja 20°C:ssa välillä 48-67 g. Tällöin MBDT:n kuiva-ainepitoisuuksiin verrattaessa on edullisempaa käyttää huoneenlämpötilassa mitattuja tuloksia, koska niillä saadaan parempi korrelaatio. Ero on korrelaatiokertoimien perusteella selkeä. Mekaanisille massoille saatiin huoneenlämpötilassa korrelaatiokertoimeksi 0,7178 ja 50°C:ssa 0,4434.

MBDT- ja SR-mittauksien välillä ei löytynyt korrelaatiota, kun tulokset jaettiin arkin neliömassalla. SR-testissä arkin neliömassa hienopaperilla kasvaa huomattavasti

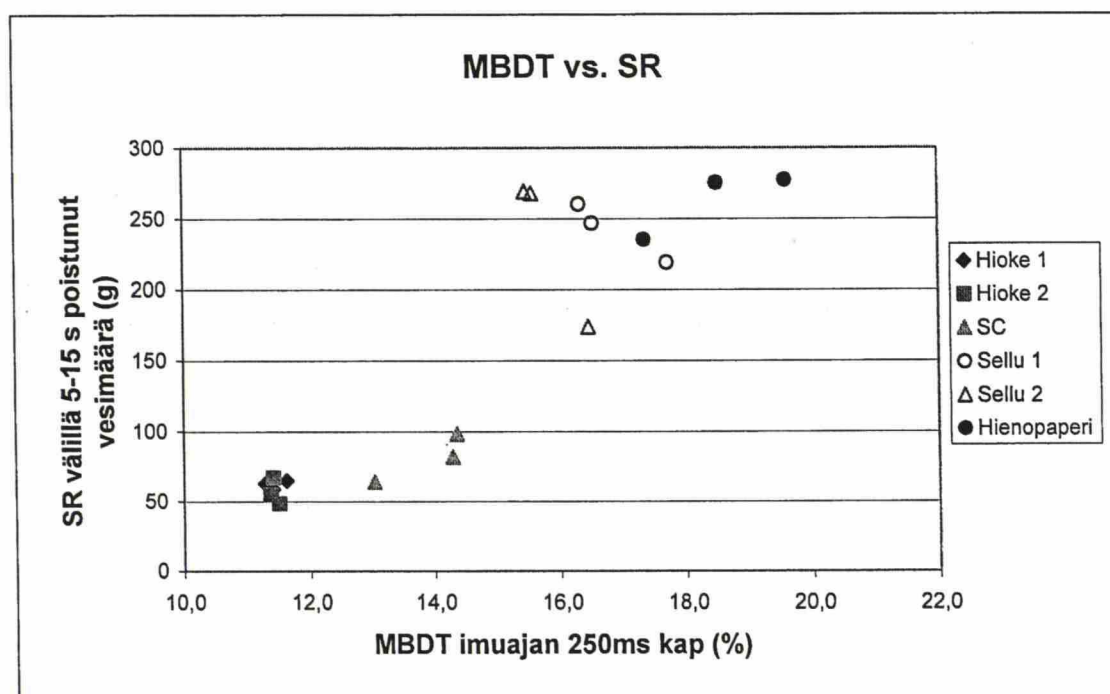
retentioaineiden käytön myötä, arkin neliöpaino nousee 147 g/m<sup>2</sup>:sta 221 g/m<sup>2</sup>:een. Arkin neliömassalla jakaminen tässä tapauksessa voi hieman vääristää tulosta, koska arkin neliömassa ei vaikuta SR-testissä suotautumiseen yhtä paljon kuin muissa menetelmissä. SR-kokeessa initiaalisuotautumisen jälkeen koe lopetetaan eikä koko vesimäärä suotaudu arkin läpi kokeen aikana, kuten esimerkiksi DDA:lla ja MBDT:llä tapahtuu.

Kuvissa 35 ja 36 on esitetty saatu korrelaatio kun verrataan MBDT:n kuiva-ainepitoisuutta SR-kokeessa aikavälillä 5-15 s poistuneeseen vesimäärään.



Kuva 35. MBDT verrattuna SR-kokeeseen. Mekaanisista massoista kuvassa SR:llä lämpötilassa 20 °C tehdyt mittaukset.

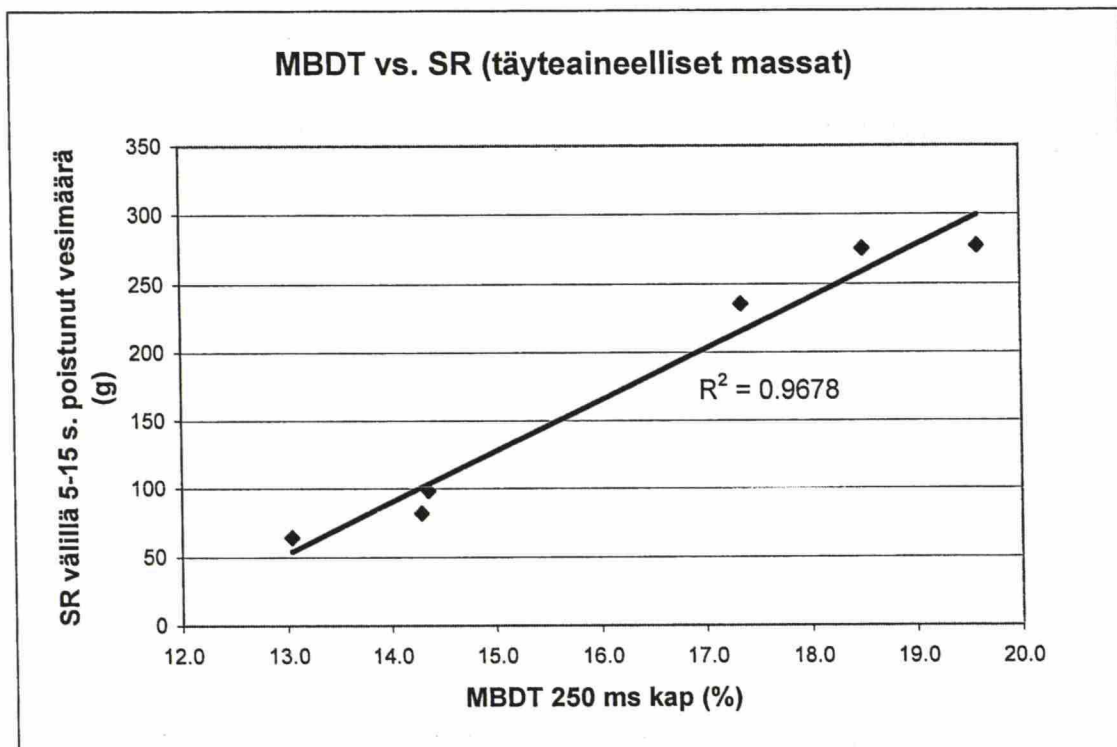




Kuva 36. MBDT verrattuna SR-kokeeseen. Mekaanisista massoista kuvassa SR:llä lämpötilassa 20 °C tehdyt mittaukset.

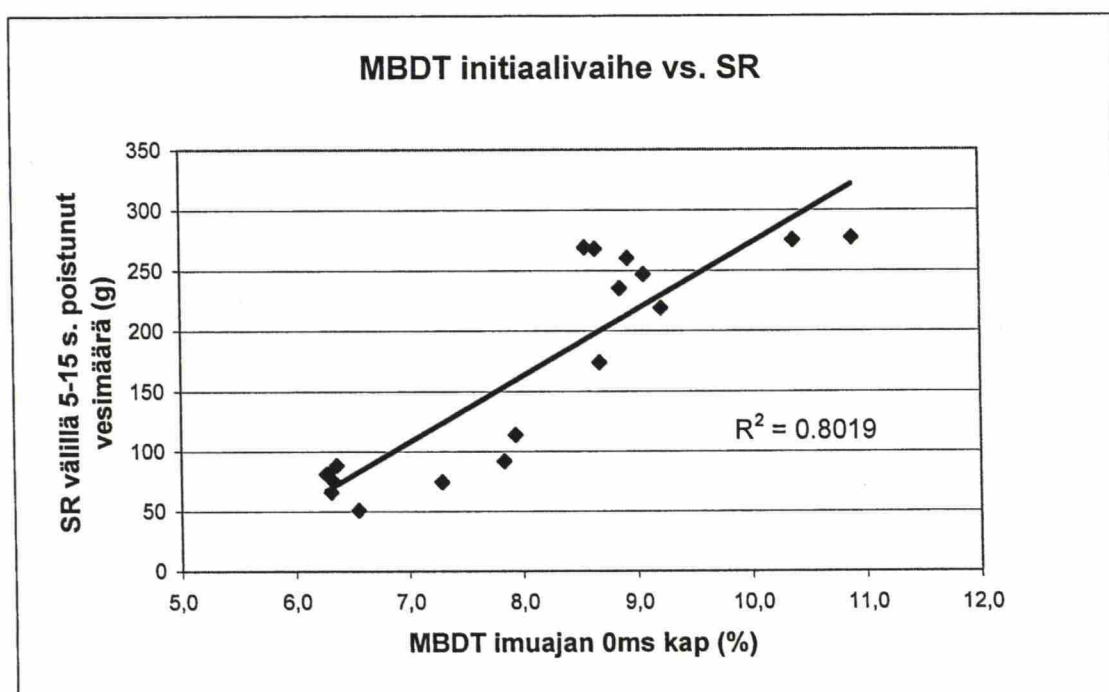
Kuvan 35 korrelaatiokertoimen (0,8059) perusteella korrelaatio MBDT:n ja SR-testin välillä on kohtuullinen. Korrelaatio on positiivinen eli MBDT:n kuiva-ainepitoisuus kasvaa SR-testissä poistuneen vesimäärä kasvaessa. Selluilla näkyy sama ilmiö kun verrattaessa MBDT:ä ja DDA:a. Korrelaatio menetelmien välillä selluilla näyttäisi olevan negatiivinen eli poistunut vesimäärä laskee kun MBDT:n kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Molemmilta selluilta kuitenkin ne koepisteet, joissa ei ole käytetty retentioaineita, sopivat muodostuvalle suoralle. Syynä sellujen poikkeamiseen on, että kemikaalin vaikutus kuiva-ainepitoisuuteen ja tietyssä ajassa poistuneeseen vesimäärään on erilainen. SR-testissä retentioaineiden vaikutuksesta sellusta poistuu initiaalisuotautumisen aikana huomattavasti enemmän vettä kuin ilman kemikaalia eli vedenpoisto paranee. MBDT:llä vedenpoisto huononee, koska muodostuvat flokit sitovat itseensä vettä ja arkin rakenne muuttuu epäedulliseksi tyhjävedenpoiston suhteen. Hienopaperilla MBDT:llä vedenpoisto paranee kemikaaliannoksen kasvaessa, koska flokkirakenteesta tulee mikropartikkelisysteemin vaikutuksesta edullisempi. Myöskin SR-kokeessa vedenpoisto paranee kemikaaliannostuksen myötä, vaikka mikropartikkelisysteemin vaikutus ei ole yhtä hyvä kuin MBDT:llä. Kuvasta 36 nähdään, että täyteaineelliset massat sijoittuvat melko hyvin suoralle. Kuvassa 37 on esitetty täyteaineellisilla massoilla saatu korrelaatio MBDT:n ja SR-kokeen välille.

Tulos on erittäin hyvä. Täyteaineellisten massojen, hienopaperimassan ja SC:n, osalta korrelaatio on hyvä, koska sekä MBDT:llä että SR-kokeessa retentioaine parantaa lopputulosta.



Kuva 37. MBDT verrattuna SR-testiin täyteaineellisten massojen osalta. Kuvassa käytetty SR-kokeessa 20 °C:ssa saadut tulokset.

MBDT:n initiaalivaihe korreloi SR-kokeen kanssa hieman heikommin kuin DDA:n tulosten kanssa, kun DDA:n tuloksista käytetään arkin kuiva-ainepitoisuutta vertailussa. Verrattaessa MBDT:n initiaalivaihetta SR-kokeeseen (kuva 38), huomataan, että korrelaatio on hyvin samanlainen kuin verrattaessa SR-kokeen tuloksia MBDT:n 250 ms imuajan jälkeiseen kuiva-ainepitoisuuteen.



Kuva 38. MBDT:n initiaalivaihe verrattuna SR-kokeeseen. Mekaanisista massoista kuvassa SR:llä lämpötilassa 20 °C tehdyt mittaukset.

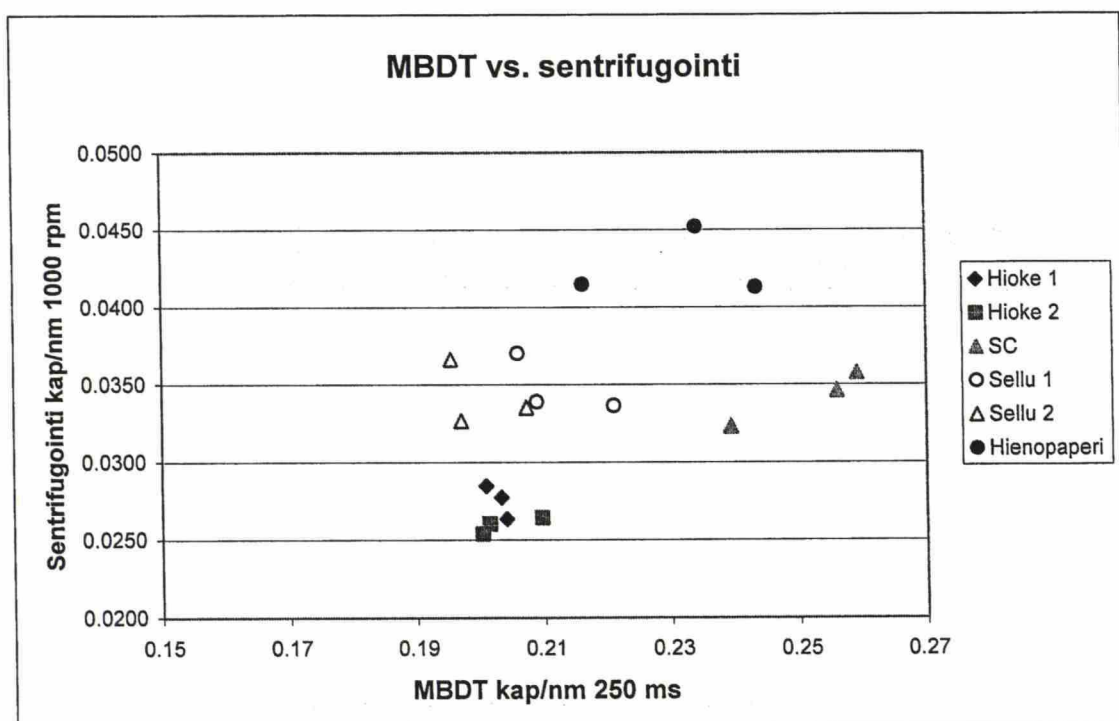
### 11.5 MBDT verrattuna sentrifugointiin

Sentrifugointitulokseen vaikuttaa kirjallisuuden perusteella voimakkaasti määrän kuitumaton rakenne ja kokoonpuristuvuus. Kirjallisuudesta löytyy esimerkkejä, jossa kemikaalien vaikutusta sentrifugointiin on tutkittu. Kuiva-ainepitoisuuden on todettu nousevan kationisen polymeerin vaikutuksesta sentrifugoinnissa. Syyksi tähän on esitetty kahta mekanismia. Polymeeri voi aggregoida kuitujen pintojen fibrillejä, jolloin niihin kiinnittynyt vesi poistuu. Tämä ilmiö vaikuttaa erityisesti alhaisilla polymeeriannoksilla. Toinen mekanismi on kationisen polymeerin tunkeutuminen kuidun soluseinään, jossa se neutraloi kuidun sisäpintojen varattuja ryhmiä. Seurauksena on veden poistuminen kuidun turpoamisen vähentyessä. Hienoainepitoisuudella on todettu olevan vaikutusta retentioaineen toimintaan sentrifugoinnissa. Sentrifugoinnin jälkeinen kuiva-ainepitoisuus nousi retentioaineen vaikutuksesta, kun massassa on runsaasti hienoainetta. Retentioaine parantaa siis sentrifugoinnissakin vedenpoistoa parhaiten runsaasti hienoainetta sisältävistä massoista. Tämä ilmiö nähdään myös tehtyjen kokeiden perusteella. Kokeiden tulokset on esitetty liitteessä 5.



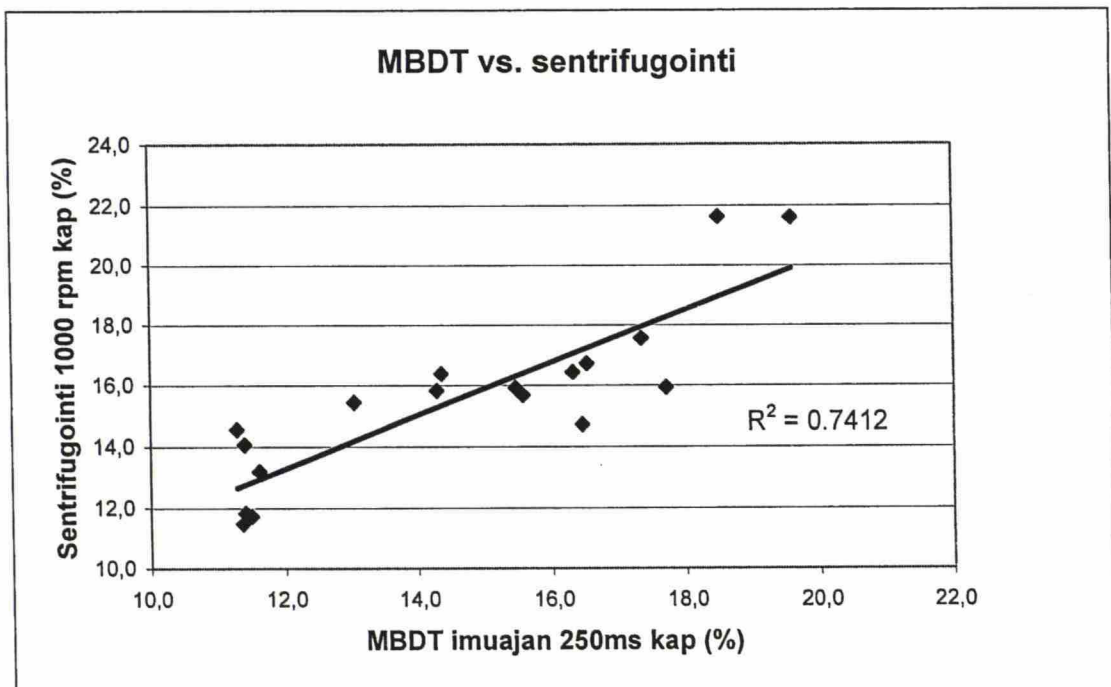
MBDT:n tuloksia verrataan sentrifugoinnin jälkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin tai massakakun neliömassalla jaettuihin kuiva-ainepitoisuuksiin. Kuiva-ainepitoisuus 1000 rpm sentrifugoinnin jälkeen on sopiva vertailuarvo, koska kuiva-ainepitoisuudet ovat lähellä MBDT:llä saatuja kuiva-ainepitoisuuksia 250 ms imuajan jälkeen. 1000 rpm sentrifugoinnin jälkeen kuiva-ainepitoisuudet olivat hieman korkeampia kun MBDT:llä 250 ms imuajan jälkeen.

Kuvassa 39 on esitetty tulos, kun vertaillaan neliömassoilla jaettuja kuiva-ainepitoisuuksia. Kuvasta 39 nähdään, että yleistä korrelaatiota ei tällä tarkastelutavalla löydy. Vertailu olisi parempi tehdä erikseen kemiallisten ja mekaanisten massojen osalta käytettäessä vertailussa neliömassalla jaettua kuiva-ainepitoisuutta.

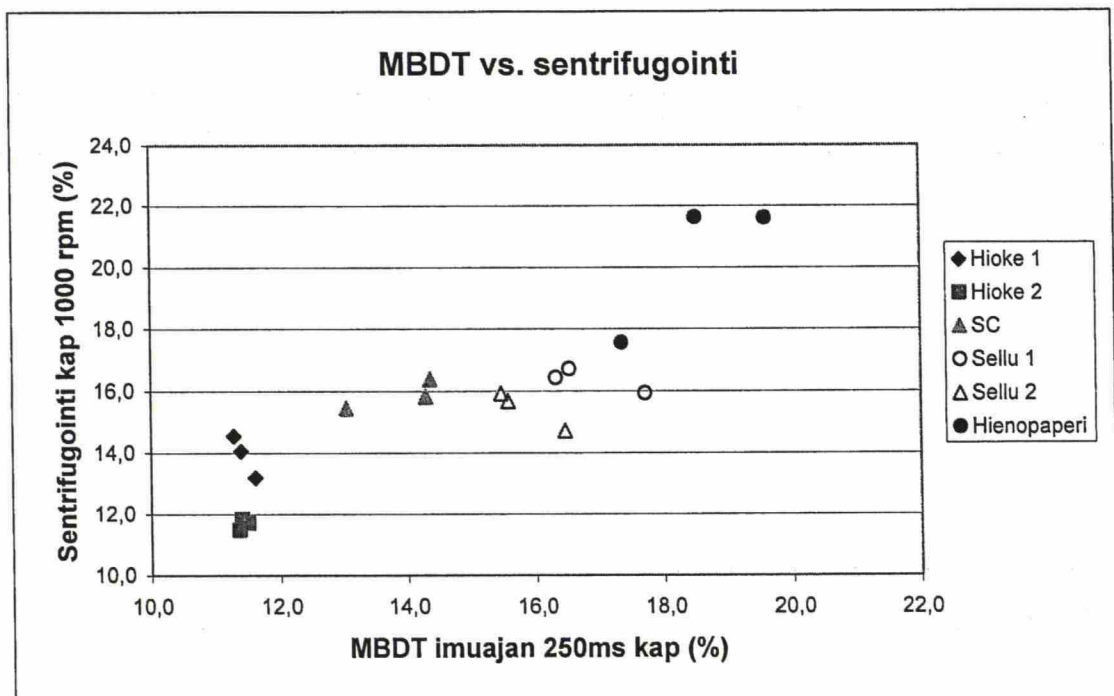


Kuva 39. MBDT verrattuna sentrifugointiin (kaikki koepisteet).

Kuvissa 40 ja 41 on esitetty vertailu menetelmien välillä, kun vertailuparametreina käytetään kuiva-ainepitoisuuksia. Kaikki koepisteet mukaan lukien korrelaatio MBDT:n ja sentrifugoinnin välillä on kohtuullinen (korrelaatiokerroin 0,7412). Korrelaatiokerroin on välillä 0,419-0,897 95 %:n todennäköisyydellä.



Kuva 40. Korrelaatiokerroin MBDT:n ja sentrifugoinnin välillä kuiva-ainepitoisuuksien perusteella laskettuna.

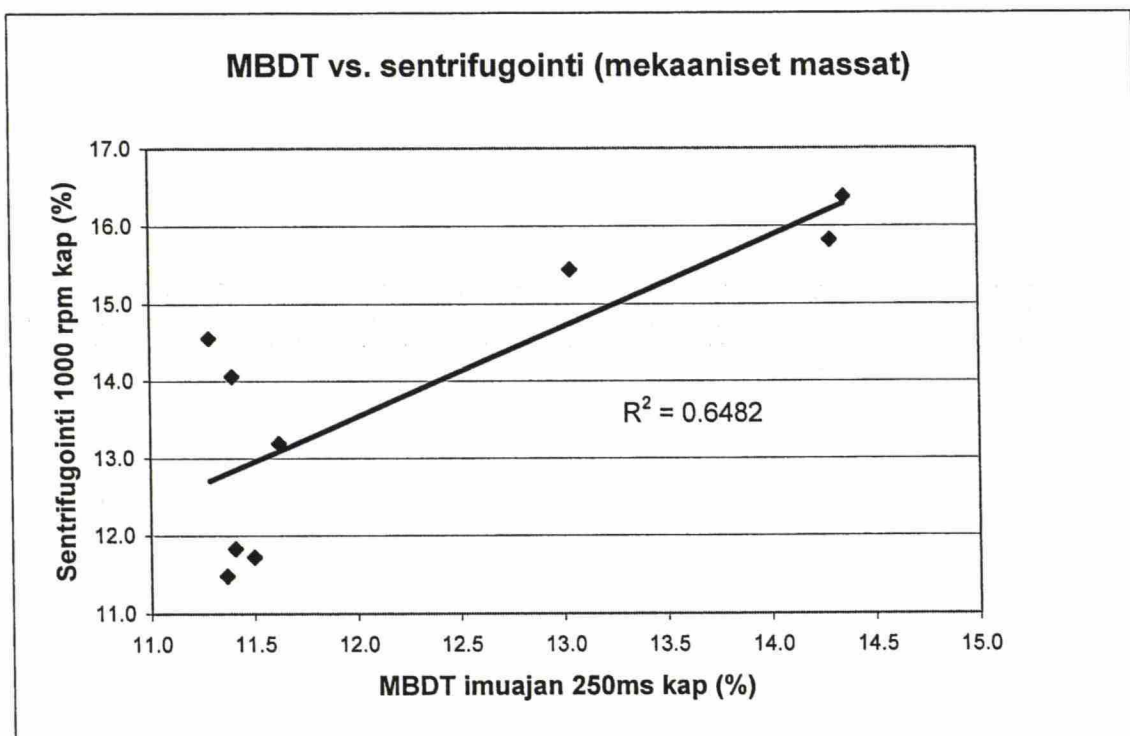


Kuva 41. MBDT verrattuna sentrifugointiin kuiva-ainepitoisuuksien perusteella.

Korrelaatio MBDT:n ja sentrifugoinnin välillä on parempi, kun käytetään molemmista menetelmistä kuiva-ainepitoisuuksia vertailussa. Kuvasta 41 nähdään, että pelkillä selluilla pisteet, jotka poikkeavat eniten suoran linjasta, ovat ilman kemikaaleja tehdyt mittaukset. Edellisissä vertailuissa (MBDT verrattuna DDA:iin ja SR-testiin) tilanne oli päinvastainen. Niissä sellut ilman kemikaaliannosta asettuivat paremmin

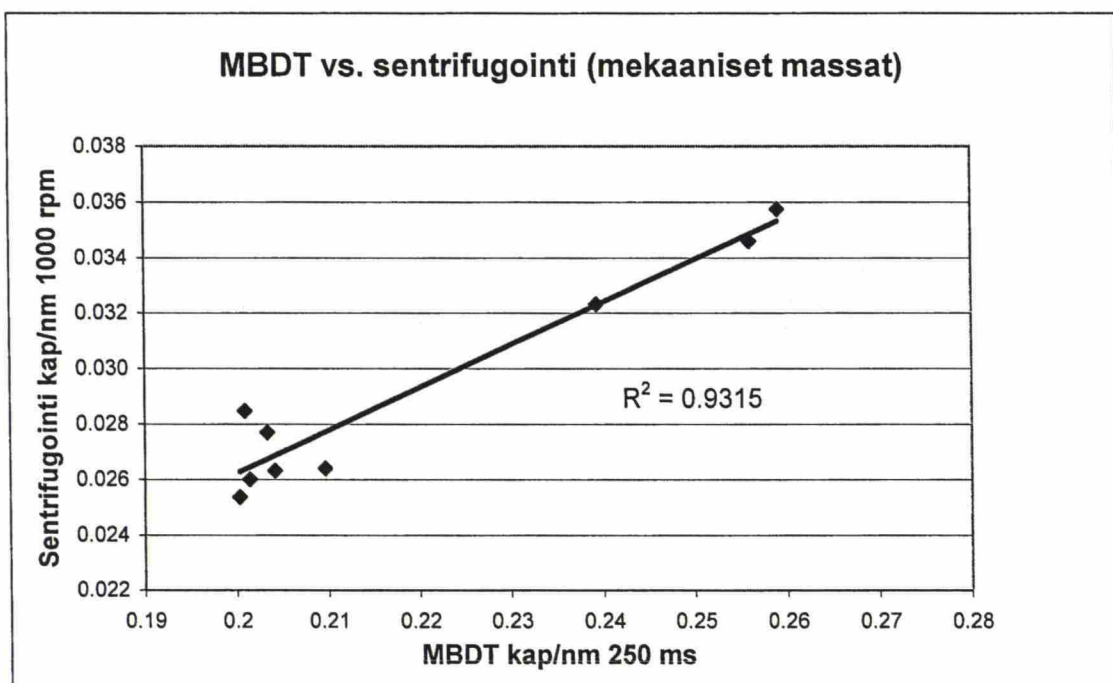
korrelaationsuoralle. Syynä tähän on, että sentrifugoinnissa sellujen yleinen taso muihin massoihin verrattuna oli alhaisempi kuin DDA:lla ja SR-kokeessa. Sentrifugoinnissa sellujen vedenpoisto on samalla tai alemmalla tasolla kuin SC-massan, kun se DDA:lla ja SR-kokeessa oli huomattavasti korkeampi. Sellujen huonompaan tulokseen sentrifugoinnissa saattaa vaikuttaa niiden suurempi kokoonpuristuvuus muihin massoihin verrattuna. Suuri kokoonpuristuvuus vaikuttaa epäedullisesti suotautumiseen.

Kuvissa 42 ja 43 on vertailtu MBDT:n ja sentrifugoinnin tuloksia mekaanisilla massoilla.



Kuva 42. MBDT verrattuna sentrifugointiin mekaanisilla massoilla. Vertailuparametreinä käytetty kuiva-ainepitoisuuksia.

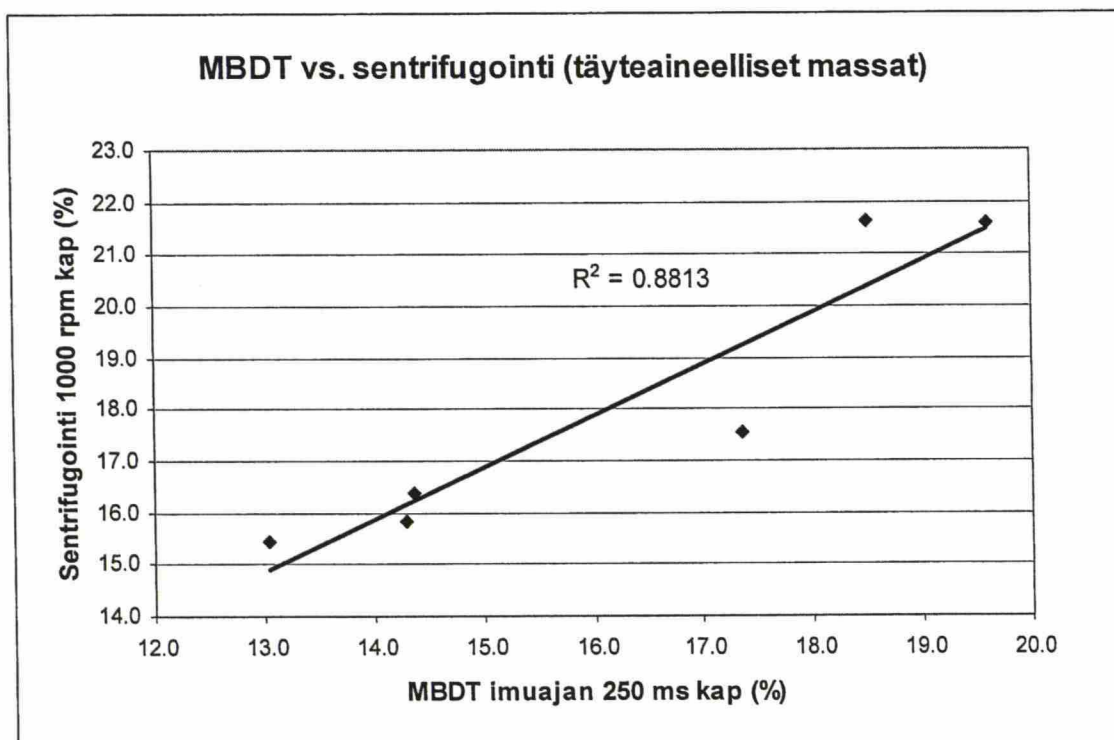




Kuva 43. MBDT verrattuna sentrifugointiin mekaanisilla massoilla. Vertailuparametreinä käytetty neliömassoilla jaettuja kuiva-ainepitoisuuksia.

Kuvassa 42 korrelaatio kuiva-ainepitoisuuksien välillä on huonompi kuin kuvassa 43 neliömassoilla jaettujen kuiva-ainepitoisuuksien välillä. Kuvan 43 perusteella mekaanisilla massoilla saadaan voimakas positiivinen korrelaatio, kun käytetään neliömassoilla jaettuja kuiva-ainepitoisuuksia. Kuiva-ainepitoisuuden jakaminen neliömassalla näyttää pienentävän tulosten hajontaa ja parantavan lopputulosta. MBDT:llä hiokkeilla tulokset jakautuvat suuremmalle välille neliömassalla jaettaessa, mikä parantaa vertailun tulosta. Korrelaatiokerroin (0,9315) on välillä 0,73-0,98 95 % todennäköisyydellä. Luottamusvälien suuruus johtuu havaintojen pienestä määrästä. Selluilla saadaan kuitenkin parempi korrelaatio kun tuloksia tarkastellaan kuiva-ainepitoisuuksien perusteella, jolloin korrelaatiokertoimeksi saadaan 0,7150. Kun kuiva-ainepitoisuudet jaetaan neliömassalla, korrelaatiokerroin on vain 0,4778. Selluilla korrelaatio huononee, kun tulos jaetaan neliömassalla, koska neliömassavaihtelut olivat huomattavasti suurempia kuin mekaanisilla massoilla.

Kuvassa 44 on esitetty korrelaatio MBDT:n ja sentrifugoinnin välillä täyteaineellisilla massoilla.



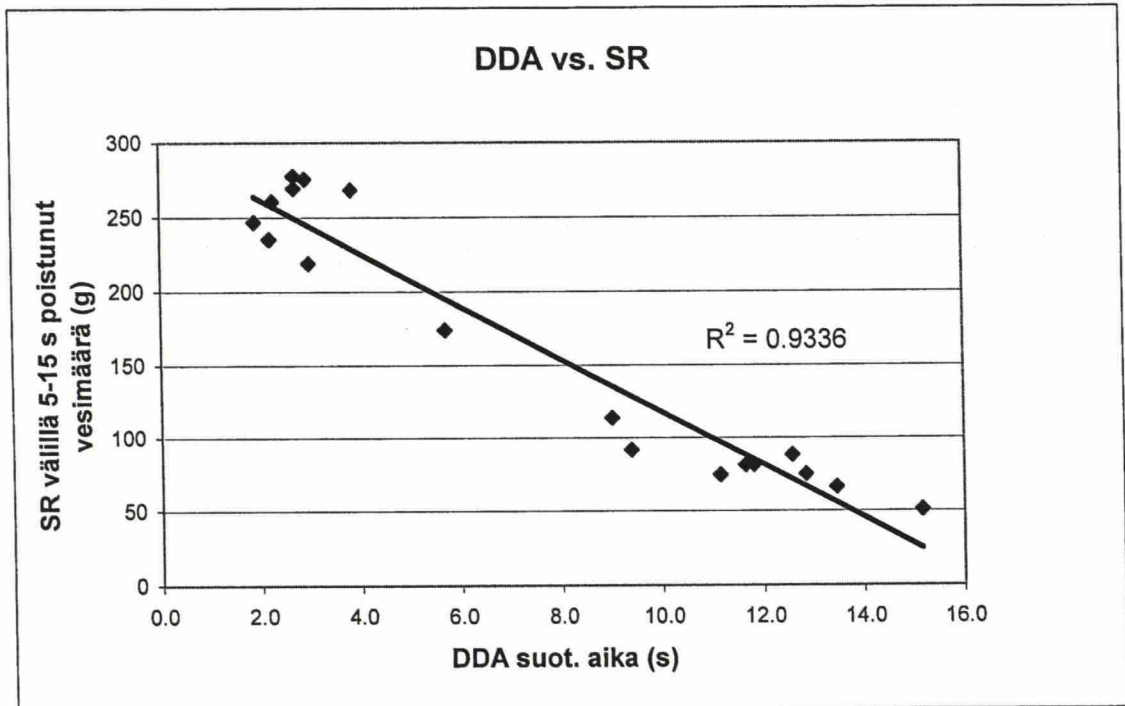
Kuva 44. MBDT verrattuna sentrifugointiin täyteaineellisilla massoilla.

Täyteaineellisilla massoilla saadaan melko hyvä korrelaatio MBDT:n ja sentrifugoinnin välille, kun käytetään vertailussa kuiva-ainepitoisuuksia. Täyteaineellisilla massoilla retentioainella saadaan huomattavia vaikutuksia tuloksiin. Tulokset ovat samansuuntaisia molemmilla mittausmenetelmillä, minkä seurauksena korrelaatio on melko hyvä.

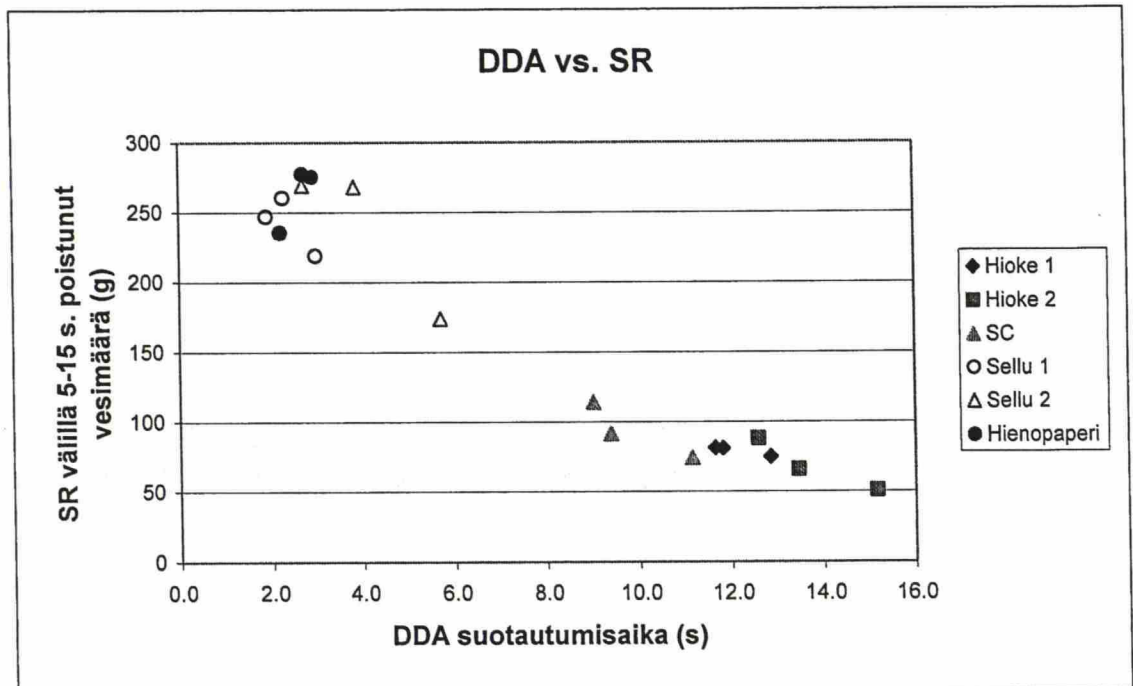
Korrelaatio on parempi kaikki massat mukaanlukien, kun tuloksina käytetään pelkkiä kuiva-ainepitoisuuksia, koska MBDT:llä selluilla ja mekaanisilla massoilla käytetyt erilaiset neliömassat vaikuttavat tuloksiin. Tällöin myös täyteaineellisilla massoilla ja selluilla erikseen tulos oli parempi. Vain mekaanisilla massoilla erikseen tarkasteltuna neliömassalla jakaminen paransi saatua korrelaatiota.

### 11.6 DDA-, SR- ja sentrifugointimenetelmien vertailu keskenään

Tulosten arvioimiseksi haluttiin vielä selvittää kaikkien käytettyjen menetelmien korrelaatio toisiinsa nähden. Lisäksi tarkastellaan minkälainen korrelaatio saadaan, kun DDA:lla saatua suotautumisaikaa verrataan DDA:lla saatuun kuiva-ainepitoisuuteen. Kuvissa 45 ja 46 on esitetty DDA- ja SR-laitteilla saatujen tulosten vertailu.



Kuva 45. DDA ja SR-testin vertailu ja korrelaatiokerroin. DDA:lla kuvassa on mekaanisilla massoilla sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 50 °C tehdyt mittaukset. SR-kokeesta kuvassa on 50 °C:ssä mitatut tulokset mekaanisilla massoilla.

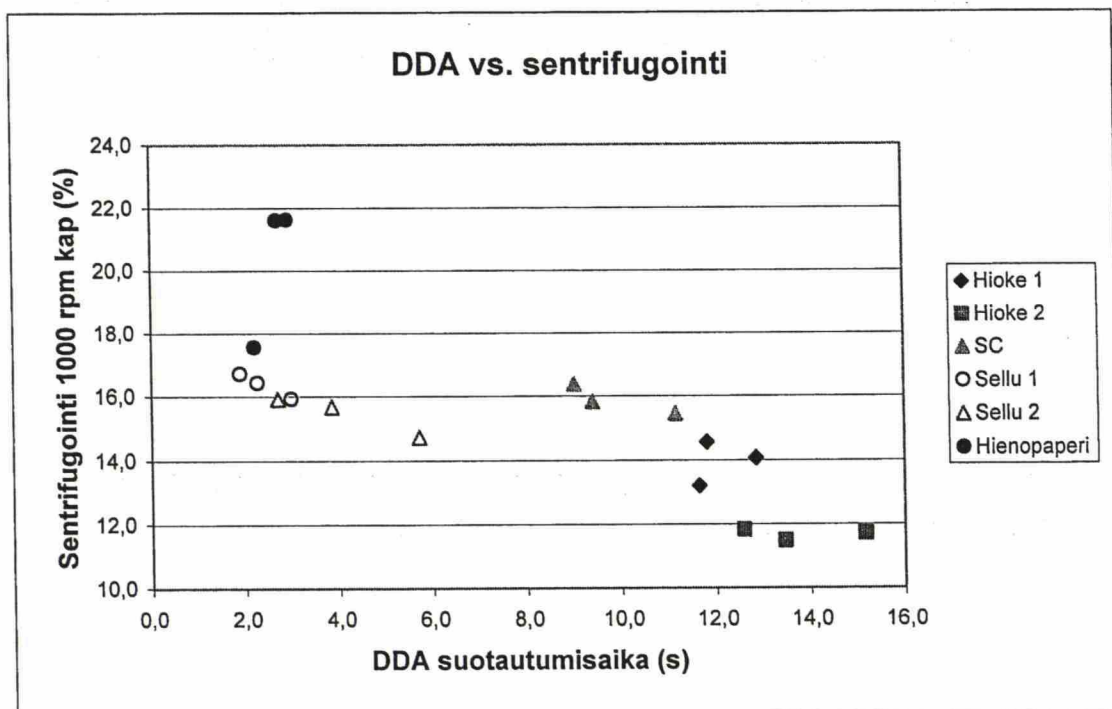


Kuva 46. DDA verrattuna SR-kokeeseen. DDA:lla kuvassa on mekaanisilla massoilla sakeudessa 2,5 g/l ja lämpötilassa 50 °C tehdyt mittaukset. SR-kokeesta kuvassa on 50 °C:ssä mitatut tulokset mekaanisilla massoilla.



Korrelaatio DDA:n ja SR-testin välillä on yleisesti ottaen hyvä (korrelaatiokerroin on 0,9336). Korrelaatio on negatiivinen, jolloin vesimäärän kasvaessa suotautumisaika lyhenee. Mekaaniset ja kemialliset massat ovat omina ryhminään, mutta sopivat molemmat muodostuvalle suoralle. Kemiallisilla massoilla hajonta on hieman suurempaa kuin mekaanisilla massoilla. Tämä johtuu osittain sellujen pienistä suotautumisajoista DDA:lla. Korrelaatio on myös hyvä, kun kuvan vertailuparametrit jaetaan neliömassalla. Korrelaatiokertoimeksi saadaan tällöin 0,9082. Tulokset ovat loogisia, koska DDA ja SR kuvaavat molemmat initiaalisuotautumista eikä kokoonpuristavia voimia kohdistu kuitumattoon kokeen aikana.

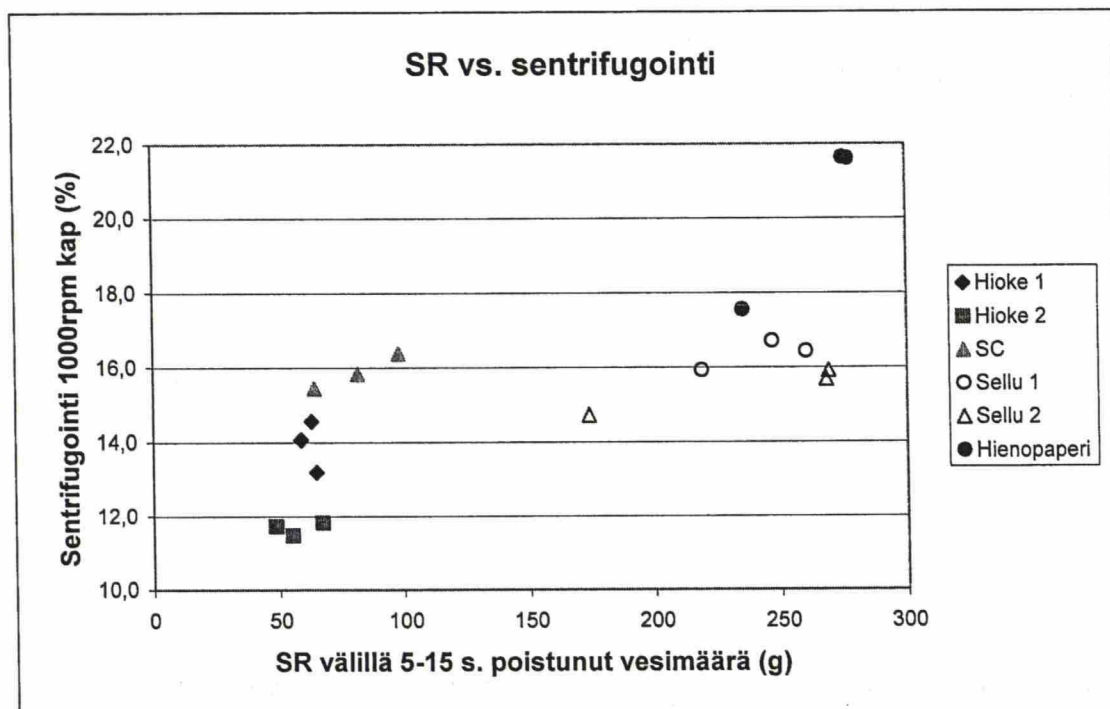
Kuvassa 47 on vertailtu DDA:n ja sentrifugoinnin tuloksia. DDA:n ja sentrifugoinnin välillä on melko heikko korrelaatio (korrelaatiokerroin on 0,5682) sekä mekaanisten massojen että sellujen osalta. Korrelaatio on samanlainen, kun verrataan neliömassalla jaettuja tuloksia toisiinsa. Syynä korrelaation vähäisyyteen on sellujen alhaiset tulokset muihin massoihin verrattuna sentrifugoinnissa.



Kuva 47. DDA verrattuna sentrifugointiin.

Sentrifugoinnin ja SR-testin välillä näyttää kuvan 48 perusteella olevan hieman parempi korrelaatio kuin sentrifugoinnin ja DDA:n välillä. Kun verrattiin kuiva-

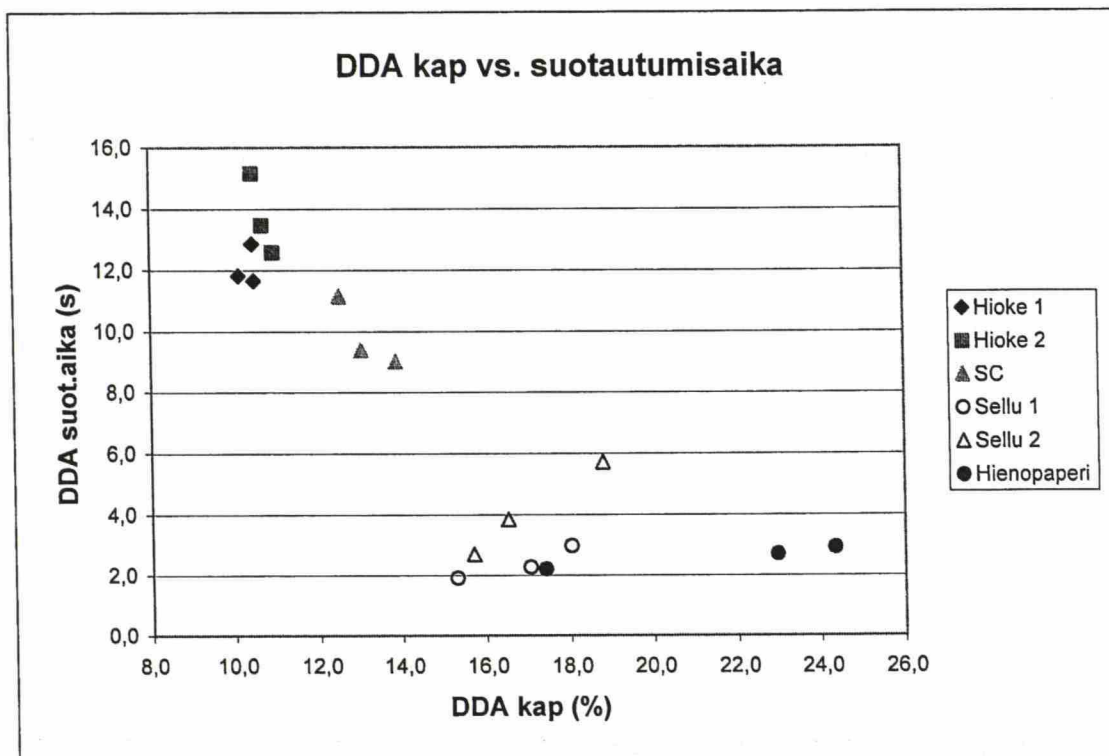
ainepitoisuutta poistuneeseen vesimäärään, tulos oli heikompi, ja korrelaatio-kertoimeksi saatiin 0,5514. SR ja sentrifugointi ovat samalla tavalla luonteeltaan erilaisia kuin sentrifugointi ja DDA, ja niiden väliset korrelaatiot ovat samansuuntaisia.



Kuva 48. Sentrifugointi verrattuna SR-testiin.

DDA:lla saatuja suotautumisaikoja verrattiin samassa kokeessa saatuihin arkin kuiva-ainepitoisuuksiin. Kuvassa 49 on esitetty vertailu kaikilla massoilla. Kokonaiskorrelaatio eri tarkasteluparametrien välillä DDA:lla oli 0,6936 ja mekaanisilla massoilla 0,6583. Korrelaatio saman mittausmenetelmän eri tarkasteluparametrien välillä on suhteellisen vähäinen. Hiokkeilla DDA:n kuiva-ainepitoisuuksien väliset erot ovat melko pieniä kuten MBDT:lläkin, mutta suotautumisaikaa tarkasteltaessa hiokkeiden väliset erot ovat selviä. Kuvasta 49 näkyy myös, että selluilla korrelaatio on erisuuntainen kuin muilla massoilla. Tämä tukee aikaisemmin havaittua ilmiötä, jossa suotautumisaika (tai poistuvan veden määrä) käyttäytyy eri tavoin selluilla kuin muilla massoilla suurten flokkien muodostumisen seurauksena. Vesi poistuu nopeammin, mutta loppukuiva-ainepitoisuus jää alhaisemmaksi flokkien sitoman veden vaikutuksesta. Sama ilmiö näyttää vaikuttavan mittausmenetelmästä riippumatta. MBDT:n kuiva-ainepitoisuuden ja DDA:n suotautumisajan korrelaatio on

samansuuntainen kuin DDA:n kuiva-ainepitoisuuden ja suotautumisajan välinen korrelaatio.



Kuva 49. DDA:lla saatu kuiva-ainepitoisuus verrattuna DDA:lla saatuun suotautumisaikaan.

Ristiin tarkastelun perusteella voidaan sanoa DDA:n ja SR-kokeen tulosten olevan vertailukelpoisia toisiinsa nähden. DDA ja SR-koe verrattuna sentrifugointiin antavat vain melko heikon korrelaation. Tulokset ovat odotusten mukaisia, koska näistä kolmesta menetelmästä DDA- ja SR-kokeet muistuttavat toisiaan, mutta sentrifugointi poikkeaa muista kahdesta. DDA- ja SR-menetelmien tarkasteluparametrit (suotautumisaika ja tietyssä ajassa poistunut vesimäärä) kuvaavat samaa asiaa. Arkin kuiva-ainepitoisuus käyttäytyy kuitenkin eri tavoin eri massoilla kemikaalien vaikutuksesta kuin suotautumisaika, siksi korrelaatio SR ja DDA-kokeilla verrattuna sentrifugointiin oli muita huonompi. DDA:lla saatujen suotautumisaikojen ja kuiva-ainepitoisuuksien välinen korrelaatio on melko heikko, mikä tukee sitä, että erilaiset tarkasteluparametrit kuvaavat vedenpoistoa eri tavoin.



## 12 TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI

Luottamusvälit mittauksille laskettiin liitteen 6 kaavan mukaisesti. 95 % luottamusvälit olivat MBDT:llä SC-massalla laskettuna 0,5- 2,8 % kuiva-ainepitoisuuksista. Suuri osa kuiva-ainepitoisuuksien hajonnasta MBDT:llä aiheutui laitteelle annosteltavan massa-määrän tarkkuudesta sakeusvaihteluiden seurauksena. Arkin punnitsemistarkkuus ja retentioaineen määrän mahdolliset vaihtelut voivat myös aiheuttaa virhettä.

DDA:lla SC-massan toistojen perusteella lasketut 95 % luottamusvälit olivat suotautumisajalle 3,1 % tulosten keskiarvosta ja neliömassalla jaetulla suotautumisajalla 2,6 % tulosten keskiarvosta. Määrän arkin kuiva-ainepitoisuudelle luottamusvälit olivat 3,4 % tulosten keskiarvosta. Luottamusvälit olivat DDA:lla suhteellisen suuret muihin menetelmiin verrattuna. Virhettä aiheutui massan sakeuden vaihtelusta. Esimerkiksi viira- ja täyteaineretention laskeminen, joka perustuu sisään menevän sulpun sakeuteen ja määrään, jää epätarkaksi, kun sisään menevän sulpun sakeutta ei tiedetä tarkasti. Määrän arkin kuiva-ainepitoisuuksissa on paljon hajontaa, jonka aiheutti veden valuminen arkille laitetta avattaessa. Sellujen suotautumisajat olivat DDA:lla hyvin pieniä, suurin osa kahden ja kolmen sekunnin välillä. Erot olivat hyvin pieniä, jolloin pienikin virhe voi vaikuttaa tulosten järjestykseen. DDA:lla tavoiteltava suotautumisaika kokeen luotettavuuden kannalta olisi 5-10 sekuntia. Tässä työssä tehtiin kokeet samassa sakeudessa ja tilavuudessa sekä mekaanisilla massoilla että selluilla helpomman vertailun vuoksi, jolloin sellujen suotautumisajat jäivät hyvin pieniksi. Korkeammassa sakeudessa mekaanisten massojen suotautumisajat olivat korkeimmillaan 37 s. Mekaanisilla massoilla tehtiinkin koesarja myös alhaisemmassa sakeudessa.

Tarkasteltaessa SR-kokeessa 5-15 sekunnissa poistunutta vesimäärää SC-massalla 95 % luottamusvälit olivat 0,9 % ko. arvoista, joka on melko hyvä tulos. Testissä virhettä aiheutui todennäköisesti massan sakeusvaihteluista johtuen. Retentioaineet sekoitettiin sulppuun erillisessä astiassa, josta sulppu kaadettiin SR-testeriin. Sekoitustastiaan jäi aina pieni määrä sulppua. Sekoituksen lopettamisen ja SR-kokeen aloittamisen välille

jäävä pieni viive lisäsi kuitujen ja retentioaineiden kontaktiaikaa. Viiveen määrä ei ole tarkasti arvioitavissa mutta se on välillä 5-10 s.

Sentrifugointituloksien neliömassalla jaetuista kuiva-ainepitoisuuksista (1000 rpm) tehdyn tarkastelun mukaan 95 % luottamusvälit olivat SC-massalla 2,6 % ko. arvoista. Kuiva-ainepitoisuuksille vastaava arvo oli 1,8 % ko. arvoista. Muissa menetelmissä tuloksen jakaminen neliömassalla pienensi luottamusvälejä mutta sentrifugoinnissa tilanne on päinvastainen. Ilmeisesti massakakun neliömassa on niin suuri, että sillä jakaminen aiheuttaa hajontaa tuloksiin. Neliömassalla ei todennäköisesti ole yhtä suurta vaikutusta lopputulokseen kuin muissa menetelmissä. Kokeissa virhe johtui osaksi massan annostelun tarkkuudesta ja punnitsemistarkkuudesta. Suhteellisen sakeaa massaa oli vaikea saada annosteltua pieneen näyteputkeen. Retentioaineiden kontaktiaika kuituihin oli kokeessa erilainen kuin muissa menetelmissä, koska ylimääräisen veden annettiin valua näyteputkesta pois 15 minuutin ajan ennen sentrifugointia. Tämä oli kuitenkin välttämätöntä, koska jos sentrifugointi olisi aloitettu heti, olisi vettä ollut liikaa näytteessä. Ylimääräinen vesi olisi täyttänyt heti sentrifugoinnin alussa sentrifugin vesitilan eikä enempää vettä olisi päässyt poistumaan näytteestä.

Syy eroaviin tuloksiin voi osittain johtua erilaisista näytetilavuuksista. Sekoituksen aiheuttamat leikkausvoimat hajottavat flokkien sidoksia nopeammin pienessä näytetilavuudessa. MBDT:llä näytetilavuus oli 190-290 ml, DDA:lla 500 ml ja SR-testissä 1000 ml. Sentrifugoinnissa kemikaalit sekoitettiin näytteeseen, jonka tilavuus oli 500-700 ml.

Korrelaatiokertoimille laskettiin luottamusvälit. Kun kaikkia massoja vertailtiin keskenään koepisteiden määrä oli 18, ja luottamusvälien laskenta oli perusteltua. Jotain yksittäistä massaryhmää tarkasteltaessa luottamusvälit laskettiin kun koepisteiden määrä oli vain 9. Luottamusvälit olivat näissä tapauksissa melko suuret johtuen havaintojen pienestä määrästä

## 13 KOKEELLISEN OSAN YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli selvittää, löytyisikö yksinkertaista mittausmenetelmää, jolla saataisiin MBDT:n kanssa vertailukelpoisia tuloksia erilaisia massoja ja kemikaalisysteemejä käyttäen. Tarkastelu tehtiin vertaamalla tietylle massajoukolle MBDT:llä saatuja vedenpoiston lukuarvoja kolmella muulla laitteella saatuihin arvoihin samaa massajoukkoa käyttäen.

Kokeissa käytettiin kahta tyypillistä paperinvalmistuksessa käytettävää täyteaineellista massaa (SC ja hienopaperi), kahta erilaista sellua ja kahta erilaista hioketta. Hienopaperille ja selluille retentioaineina käytettiin polyakryyliamidia sekä polyakryyliamidin ja bentoniitin mikropartikkelisysteemiä. Mekaanisille massoille käytettiin pelkkää polyakryyliamidia. Laitteina olivat MBDT:n lisäksi DDA, sentrifuugi ja SR-laitte, johon oli yhdistetty vaaka ja tietokone.

MBDT:n tuloksista muihin menetelmiin verrattiin pääasiassa arkin kuiva-ainepitoisuutta 250 ms imuajan jälkeen. DDA:lla tulosten tarkastelussa käytettiin suotautumisaikaa ja arkin kuiva-ainepitoisuutta kokeen jälkeen. SR-testissä tuloksena saatiin kuvaaja suodoksen kertymisestä ajan funktiona. Tulosten tarkasteluun valittiin käytettäväksi käyrältä aikavälillä 5-15 s poistunut vesimäärä. Sentrifugoinnissa tuloksia tarkasteltiin pääasiassa sentrifugoinnin jälkeisen kuiva-ainepitoisuuden perusteella.

Tulokset menetelmien vertailtavuudesta olivat yleisesti ottaen melko hyviä. Kaikki massat mukaanlukien paras korrelaatio saatiin verrattaessa MBDT:n tuloksia DDA:n tuloksiin arkkien kuiva-ainepitoisuuksia käyttäen. Kaikilla massoilla korrelaatio oli melko hyvä korrelaatiokertoimen ollessa 0,91. Selluilla oli hieman enemmän hajontaa kuin mekaanisilla massoilla. MBDT:n initiaalivaiheen ja DDA:n välille saatiin myös odotetusti hyvä korrelaatio ( $R^2 = 0,93$ ).

MBDT:n ja SR-testin välinen korrelaatio oli kohtuullinen ( $R^2 = 0,81$ ). Eniten tuloksista poikkesivat sellut, joiden osalta kemikaaliannoksen vaikutus MBDT- ja SR-kokeisiin



oli hyvin erilainen. Muiden massojen osalta menetelmien välinen korrelaatio oli hyvä. Täyteaineellisilla massoilla SR-testin ja MBDT:n välinen korrelaatio oli korrelaatio-kertoimen mukaan paras testatuista menetelmistä.

Sentrifugoinnin ja MBDT:n välinen korrelaatio oli yleisesti kaikilla massoilla heikoin kolmesta vertailtavasta menetelmästä ( $R^2 = 0,74$ ). Kuitenkin mekaanisilla massoilla saatiin hyvä korrelaatio menetelmien välille, kun tulokset jaettiin neliömassalla. Myöskin sentrifugoinnin ja MBDT:n välillä korrelaatiota heikensivät sellut, jotka poikkesivat muista massoista, koska niiden järjestys MBDT:llä ja sentrifugoinnissa oli erilainen.

Yleisesti parhaat korrelaatiot saatiin vertaamalla mitattuja suureita ilman että ne jaettiin arkkien neliömassoilla. Poikkeuksena oli sentrifugointi, jossa mekaanisilla massoilla saatiin parempi korrelaatio, kun kuiva-ainepitoisuus oli jaettu neliömassalla. Sentrifugoinnissa neliömassalla jakaminen ei parantanut lopputulosta selluilla, koska niillä neliömassavaihtelut olivat suuria ja aiheuttivat hajontaa. Tuloksen jakaminen neliömassalla näyttäisi olevan perusteltua, kun neliömassojen hajonta ei ole suurta ja kaikilla massoilla on käytetty samaa neliömassaa.

Täyteaineellisilla massoilla (SC- ja hienopaperimassa), jotka ovat yleisiä paperikonemassoja, saatiin kaikilla menetelmillä hyviä tuloksia. Niillä MBDT:n tulosten vertailukelpoisuuden voidaan sanoa olevan melko hyvällä tasolla verrattaessa DDA:iin ( $R^2 = 0,90$ ), SR-kokeeseen ( $R^2 = 0,97$ ) ja sentrifugointiinkin ( $R^2 = 0,88$ ). Sentrifugoinnissa tulos saatiin käyttämällä vertailussa neliömassalla jaettuja kuiva-ainepitoisuuksia.

Sellujen käyttäytyminen poikkesi niin paljon eri menetelmien välillä, että selluilla korrelaatiot olivat kauttaaltaan muita massoja huonompia. Sellun käyttäytyminen kemikaalien vaikutuksesta oli erilainen initiaalivaiheessa ja vakuuminvaiheessa. Lisäksi selluilla tulokset riippuivat suuresti tarkasteluparametrasta, koska kemikaaliannoksen kasvaessa poistuvan veden määrä kasvoi (SR) ja suotautumisaika lyheni (DDA), mutta arkin kuiva-ainepitoisuus laski (DDA ja MBDT). Paras tulos saavutettiin käyttämällä samoja tarkasteluparametreja molemmista vertailtavista menetelmistä, siis joko

suotautumisaikaa tai kuiva-ainepitoisuutta. Korrelaatio oli paras myös mekaanisilla massoilla tällä tavoin tarkasteltuna, mutta vaikutus oli suurempi selluilla. Siksi parhaat tulokset selluille saatiin DDA:n ja MBDT:n välille kun käytettiin kuiva-ainepitoisuutta molemmista menetelmistä. DDA:n suotautumisajan ja kuiva-ainepitoisuuden välinen huono korrelaatio tukee sitä, että eri tarkasteluparametrit kuvaavat vedenpoistoa eri tavoin. Kun halutaan vertailla jonkin menetelmän tuloksia MBDT:n tuloksiin, kuiva-ainepitoisuuksien vertailu keskenään antaa todennäköisesti parhaimman tuloksen. Jos lähtökohtana pidetään sitä, että MBDT kuvaa paperikoneen vedenpoistoa, voidaan olettaa kuiva-ainepitoisuuden kuvaavan vedenpoistoa muissakin menetelmissä. DDA:n kuiva-ainepitoisuuden onkin kirjallisuudessa todettu korreloivan paperikoneen kuiva-ainepitoisuuden kanssa ennen puristusta.

Kokeiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että suotautumisajat (tai tietyssä ajassa poistunut vesimäärä) korreloivat hyvin keskenään ja kuiva-ainepitoisuudet keskenään. DDA:n ja SR-kokeen välille saatiin hyvä korrelaatio suotautumisaikoja käyttämällä, ja MBDT:n ja DDA:n sekä jossain määrin myös sentrifugoinninkin välille saatiin hyvä korrelaatio kuiva-ainepitoisuuksia käyttäen. Molemmat parametrit (suotautumisaika ja kuiva-ainepitoisuus) voivat kuvata paperikoneen vedenpoistoa, mutta kuiva-ainepitoisuuden voidaan sanoa olevan lopputuloksen kannalta tärkeämpi parametri.

Sentrifugoinnin osalta olisi mielenkiintoista kokeilla minkälaisia tuloksia saataisiin suurempia putkia käyttäen. Sentrifugoinnissa massakakun halkaisija oli 34 mm, joka oli huomattavasti pienempi kuin muissa menetelmissä. Suurempia putkia käyttäen muodostuvan massakakun neliömassa saataisiin alhaisemmaksi ja suotautumisvastus pienemmäksi. Sentrifugoinnissa neliömassa oli keskimäärin 450-500 g/m<sup>2</sup>, DDA:lla 250-300 g/m<sup>2</sup> tai 150-170 g/m<sup>2</sup>, SR-testissä 190-200 g/m<sup>2</sup> ja MBDT:llä mekaanisilla massoilla 56 g/m<sup>2</sup> ja selluilla 80 g/m<sup>2</sup>.

## LÄHDELUETTELO

1. Aaltonen, P., Sulpun suotautuminen. Paperin valmistus. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY. Turku 1983. s. 121-150.
2. KnowPap, versio 2.2. VTT Automaatio, 1997-2000.
3. Urick, J.M. & Fisher, B.D., Factors affecting the use of chemical drainage aids. Tappi 59(1976)10. s. 78-81.
4. Neimo, L., Kemialliset retentiosysteemit. Helsinki 1996. Insko-seminaarit, paperikemia 1996. s. 1-30.
5. Norell, M., Johansson, K. & Persson, M., Retention and drainage. Papermaking Chemistry. Toim. Gullichsen, J., Paulapuro, H., & Neimo, L. Julk. PI ja TAPPI. Fapet Oy, Helsinki, 1999. s. 42-81.
6. Forsberg, S. & Bengtsson, M., The dynamic drainage analyser (DDA). Tappi 1990 Papermakers Conference. Atlanta, GA, April 23-25, 1990. TAPPI Press, Atlanta, 1990. s. 239-245.
7. Saharinen, E., Hydrodynaamisten tekijöiden rooli paperikoneen viiraretentiossa. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, Polymeerikemian laitos. Helsinki 1990. 200 s.
8. Räisänen, K., Karrila, S. & Paulapuro, H., Wire section simulation with the moving belt drainage tester (MBDT). Tappi 1993 Papermakers Conference. Atlanta, GA, April 18-21, 1993. TAPPI Press, Atlanta, 1993. s. 103-113.
9. Unbehend, J.E., Laboratory drainage testers- A critical review. Tappi 1990 Papermakers Conference Proceedings. April 23-25, 1990. TAPPI Press, Atlanta, 1990. s. 363-375
10. Räisänen, K., Karrila, S. & Maijala, A., Vacuum dewatering optimization with different furnishes. Pap. Puu 78(1996)8, s. 461-467.
11. Blanco, A., Negro, C. & Tijero, J., Modeling drainage in the wire section of the fourdrinier machine, Pira International, Surrey, 1997, 56 s.
12. Ebeling, K., Rainauksen perusmekanismit. Helsinki 1986. INSKO 112-86, Rainaus ja märkäpuristus. 27 s.
13. Parker, J.D., The Sheet Forming Process. Tappi Stap no. 9. Tappi Press, Atlanta, 1972. 93 s.



14. Britt, K.W., Unbehend, J.E. & Shridharan, R., Observations on water removal in papermaking. Tappi J. 69(1986)7. s. 76-79.
15. Unbehend, J.E., Wet end chemistry of retention, drainage and formation aids. Pulp and Paper Manufacture Vol. 6, 3. painos, TAPPI Press 1992, s.140-155.
16. Davison, R.W., A new vacuum pulsation drainage procedure for determining fine particle retention. Tappi J. 72(1989)8, s. 121-127.
17. Beck, M.W. & Kanitz, R., The paper making process: retention - mechanical effects. Optimizing and Troubleshooting Retention and Drainage Short Course 1994. San Francisco, CA, April 27-29, 1994. UMI, Michigan, 2000. s. 15-25.
18. Lehtinen, A. & Sinervä, J., Rainanmuodostus tasoviiralla. Paperin valmistus. Toim. A. Arjas. Julk. SPIY. Turku 1983.
19. Stratton, R.A., Introduction to retention and drainage mechanisms. Tappi 1989 Retention and drainage short course. Washington D.C., April 12-14, 1989. TAPPI Press, Atlanta, 1989. s. 1-4.
20. Britt, K.W. & Unbehend, J.E., Water removal during paper formation. Tappi J. 68(1985)4, s. 104-107.
21. Gess, J.M., Drainage/retention and the papermaking process. Optimizing and Troubleshooting Retention and Drainage Short Course 1994. San Francisco, CA, April 27-29, 1994. UMI, Michigan, 2000. s. 1-11.
22. Räisänen, K.O., Paulapuro, H. & Karrila, S.J., The effects of retention aids, drainage conditions, and pretreatment of slurry on high-vacuum dewatering: a laboratory study. Tappi J. 78(1995)4. s. 140-147.
23. Maunier, C.O. & Ramarao, B.V., Effect of flocculation on pulp drainage characteristics. Tappi 1996 Engineering Conference. Chicago, IL, September 16-19, 1996. TAPPI Press, Atlanta, 1996. s. 221-230.
24. Britt, K.W. & Unbehend, J.E., Water removal during sheet formation. Tappi 63(1980)4, s. 67-70.
25. Forsberg, S. & Ström, G., The effect of contact time between cationic polymers and furnish on retention and drainage. J. Pulp Pap. Sci. 20(1995)3. s. 71-76.
26. Springer, A.M., Chandrasekaran, S. & Wegner, T.H., The influence of starch on drainage and retention in paperboard mill systems. Tappi J. 67(1984)2, s. 104-108.

27. Krogerus, B., Impact of retention polymers on flocculation, retention, drainage and sheet formation. A laboratory study. Tappi 1994 Papermakers Conference. San Francisco, CA, 24-27 Apr 1994. TAPPI Press, Atlanta, 1994. s. 445-452.
28. Aloï, F.G., The chemistry of alkaline drainage/retention systems. Optimizing and Troubleshooting Retention and Drainage Short Course 1994. San Francisco, CA, April 27-29, 1994. UMI, Michigan, 2000. s. 79-97.
29. Bobu, E., Benea, G.H. & Bacaran, M., Performance and limits of starch as a papermaking additive. *Cellul. Chem. Technol.* 31(1997)5-6, s. 499-513.
30. Kearney, R.L, Cationic potato starch and its impact on drainage. Tappi 1990 Papermakers Conference. Atlanta, GA, April 23-25, 1990. TAPPI Press, Atlanta, 1990. s. 253-254.
31. Allen, L., Polverari, M., Levesque, B. & Francis, W., Effects of system closure on retention- and drainage-aid performance in TMP newsprint manufacture. *Tappi J.* 82(1999)4. s. 188-195.
32. Langley, J.G & Litchfield, E., Dewatering aids for paper applications. Tappi Papermakers Conference 1986. New Orleans, LA, April 14-16, 1986. TAPPI Press, Atlanta, 1986. s. 89-92.
33. Plantikow, J.E., Forming fabric design technology continues to evolve at rapid pace. *Pulp Pap.* 58(1984)10. s. 122-128.
34. Helle, T., How forming fabric design affects drainage and release. *Pulp Pap. Can.* 79(1978)11. s. 91-98.
35. Räisänen, K., Water removal by flat boxes and couch roll on a paper machine wire section. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, puunjalostustekniikan osasto, Espoo 1998. 62 s.
36. Mantar, E., Co, A. & Genco, J.M., Drainage characteristics of pulp slurries under dynamic conditions. Tappi 1993 Engineering Conference. Orlando, FL, Sept. 20-23, 1993. TAPPI Press, Atlanta, 1993. s. 477-483.
37. Karrila, S., Räisänen, K. & Paulapuro, H., The moving belt drainage tester. Tappi 1992 Papermakers Conference. Nashville, TN, 5-7 Apr, 1992. TAPPI press, Atlanta, 1992. Book 1. s. 275-299.
38. Räisänen, K., High-vacuum dewatering on a paper machine wire section- a literature review. *Pap. Puu* 78(1996)3 s.113-120.

39. Gagnon, J.C. & Neun, J.A., High vacuum dewatering on fourdriniers and formers. CPPA 82nd annual meeting Technical section. Montreal, Canada, 301-2.2.1996. Preprints B, s. B177-B180.
40. Britt, K.W., Unbehend, J.E. & Holman, J.C., Dynamic drainage of paper stock. Tappi J. 65(1982)11, s. 64-66.
41. Pask, M.D. & Bormann, M.C., Tools used to measure drainage and retention on and off the paper machine. Optimizing and Troubleshooting Retention and Drainage Short Course 1994. San Francisco, CA, April 27-29, 1994. UMI, Michigan, 2000. s. 101-109.
42. Attwood, B.W. & Jopson, R.N., Dynamic drainage simulation. Pap. Technol. 39(1998)4. s. 53-56.
43. Sampson, W.W. & Kropholler, H.W., Batch-drainage curves for pulp characterization. Tappi J. 78(1995)12, s. 145-151.
44. Hiltunen, E., Papermaking Properties of Pulp. Pulp and Paper Testing. Toim. Gullichsen, J., Paulapuro, H., Levlin, J-E. & Söderhjelm, L., Julk. PI ja TAPPI. Fapet Oy, Helsinki, 1999. s. 39-63.
45. Ingmanson, W.L., An investigation of the mechanism of water removal from pulp slurries. Tappi 35(1952)10, s. 439-448.
46. Ingmanson, W.L. & Whitney, R.P., The filtration resistance of pulp slurries. Tappi 37(1954)11. s. 523-534.
47. Andrews, B.D. & White, L.R., A constant-rate rapid drainage tester. Tappi 52(1969)6, s. 1171-1175.
48. Nisser, H., Mätning av fibersuspensioners filterbarhet. Svensk Papperstidn. 80(1977)9. s. 265-272.
49. Wahlström, B. & O'Blenes, G., The drainage of pulps at paper-making rates and consistencies using a new drainage tester. Pulp Pap. Can. 63(1962)8, s. T-405-T417.
50. Britt, K.W., Mechanisms of retention during paper formation. Tappi J. 56(1973)10. s. 46-50.
51. Wei, H. & Ramarao, B.V., Characterization of pulp slurries using a novel drainage tester. Tappi 1996 Engineering Conference, Book 1. Chicago, IL, September 16-19, 1996. TAPPI Press, Atlanta, 1996. s. 517-523.



52. Wildfong, V.J., Shands, J.A., Genco, J.M. & Bousfield, D.W., Filtration resistance determination of fibrous suspensions utilizing a rapid drainage tester. Tappi 1998 Engineering Conference. Miami, FL, 13-17 September 1998. TAPPI Press, Atlanta, 1998. s. 927-939.
53. Wildfong, G.W., Genco, J.M., Shands, J.A. & Bousfield, D.W., Filtration mechanics of sheet forming. Part I: Apparatus for determination of constant-pressure filtration resistance. J. Pulp Pap. Sci. 26(2000)7. s. 250-254.
54. Abson, D., Bailey, R.M., Lenderman, C.D., Nelson, J.A. & Simons, P.B., Predicting the performance of shear-sensitive additives. Tappi J. 63(1980)6. s. 55-58.
55. Gess, J.M., A new drainage analysis system. Tappi J. 67(1984)3. s. 70-72.
56. Pires, E.C., Springer, A.M & Kumar, V., A new technique for specific filtration resistance measurement. Tappi J. 72(1989)7, s. 149-154.
57. Krogerus, B., Laboratory testing of retention and drainage. Papermaking Chemistry. Toim. Gullichsen, J., Paulapuro, H., & Neimo, L. Julk. PI ja TAPPI. Fapet Oy, Helsinki, 1999. s. 83-93.
58. Jayme, G., Determination and significance of water retention value. Tappi 41(1958)11. s. 180A-183A.
59. Abson, D., Observations on the centrifugal water retention test. Tappi 1988 Papermakers Conference, Chicago, IL, 11-13 Apr, 1988. TAPPI Press, Atlanta, 1988. s. 137-140.
60. LeBel, R.G., Nobleza, G.C. & Paquet, R., Water retention value indicates machine runnability of pulp. Pulp Pap. Can. 80(1979)5. s. 64-70.
61. Maloney, T.C. & Paulapuro, H., The centrifugal compression value. Tappi J. 82(1999)6. s. 150-154.
62. Ahrens, F., Alaimo, N., Nanko, H. & Patterson, T., Initial development of an improved water retention value test and its application to the investigation of water removal potential. Tappi 1999 "Preparing for the next millenium" Book 1. Atlanta, GA, March 1-4, 1999. TAPPI Press, Atlanta, 1999. s. 37-48.
63. Sweger, R.W., Novel drainage analysis of chemical additives in systems with increasing mill closure. Tappi 1996 Papermakers Conference. Philadelphia, PA, March 24-27, 1996. TAPPI Press, Atlanta, 1996. s. 59-72.

64. Sutman, F.J., Development and validation of a new drainage testing methodology. Tappi 1999 "Preparing for the Next Millenium". Atlanta, GA, March 1-4, 1999. TAPPI Press, Atlanta, 1999. s. 261-271.
65. Sutman; F.J., Development and validation of an improved drainage testing methodology. Tappi J. 83(2000)4. s. 69-70.
66. Anon., Vedenpoistokoelaite/arkkiformeri MBF (Moving Belt Former). esite, Process Team Finland Oy, 1999. 6 s.
67. Xu, L., & Parker, I., Simulating the forming process with the moving belt drainage former. Appita 1999. s. 169-173.
68. Hammock, C. & Garnier, G., Design and development of a twin-wire handsheet former. Tappi 1999 Engineering/Process and Quality Conference and Trade Fair. Anaheim, CA, Sept 12-16, 1999. TAPPI Press, Atlanta, 1999. s. 1215-1226.
69. Sivén, S. & Manner, H., High speed retention tester. 86th Annual Meeting of Paptac.. Montreal, Que, 1-3 Feb 2000. CPPA Technical Association of Canada 2000. s. A37-A41.
70. Sivén, S. & Manner, H., Multicomponent retention systems in twin wire forming. 54th Appita Annual General Conference. Melbourne 3-6.4,2000. Appita, Carlton, 2000. s. 215-220.
71. Siven, S., kirjallinen tiedonanto.
72. Pask, M.D. & Lorz, R., Drainage aid performance - lab versus mill. Tappi 1990 Papermakers Conference. Atlanta, GA, April 23-25, 1990. TAPPI Press, Atlanta, 1990. s. 247-252.
73. Wirth, B., Gralke, R., Fischer, K. & Kleemann, S., Labormethoden zur Bestimmung von Retention und Entwässerung. Wochenbl. Papierfabr. 127(1999)17. s. 1100-1107.
74. Renaud, S. & Olsson, B., Wet-end chemistry - On-line de-watering measurement. Pap. Technol. 40(1999)8. s. 36-40.
75. Kokkonen, O., Van Den Hurk, R., Lepisto, S. & Vähätalo, H., Wire section measurements using an ultrasonic drainage meter. Pulp Pap. Can. 86(1985)12. s. 161-165.

76. Penniman, J.G., On-line monitoring of microparticulate papermaking process chemistry. Tappi 1994 Papermakers Conference. San Francisco, CA, April 24-27, 1994. TAPPI Press, Atlanta 1994. s. 229-236.
77. Baker, J., Pulp drainage analyzer in on-line freeness testing in TMP and GW applications. Tappi 1992 Pulping Conference. Boston, MA, Nov 1-5, 1992. TAPPI Press, Atlanta, 1992. Book 2. s. 591-601.
78. Nordin, J.A., On-line predictions of physical properties of mechanical pulp with applications in process optimization. 1995 International Mechanical Pulping Conference. Ottawa, Ontario, June 12-15, 1995. Technical Section, Montreal, 1995. s. 131-142.
79. Nordin, J.A., Hill, J. & Nelvig, L., The SCS package control systems for the control of the mechanical pulping processes. Pulp Pap. Can. 82(1981)8. s. 38-44.



## LIITTEET

Liite 1. Koepistekohtainen koesuunnitelma

Liite 2. Käytetyt standardimenetelmät

Liite 3. Kemikaalien lisäyssekvenssi

Liite 4. Viiraretention ja luottamusvälien laskenta

Liite 5. Tulokset

Liite 6. Luottamusvälit eri laitteiden tuloksille

Liite 7. Hiokkeiden lujuudet

Liite 8. Massojen hienoainepitoisuudet

## Koepistekohtainen koesuunnitelma

koepiste	massa	ret.aine	annostelu (kg/t)	lämpötila (C)	laite
1	Hioke 1	PAM	0	50	MBDT
2	↓		0,3		
3	↓		0,6		
4	Hioke 2		0		
5	↓		0,3		
6	↓		0,6		
7	SC		0		
8	↓		0,3		
9	↓	↓	0,6		
10	Sellu 1	PAM+bent.	0		
11	↓		0,5		
12	↓		0,5+2		
13	Sellu 2		0		
14	↓		0,2+2		
15	↓		0,5+2		
16	Hienopap.		0		
17	↓		0,5		
18	↓	↓	0,5+2	↓	↓
19	Hioke 1	PAM	0	20	DDA
20	↓		0,3		
21	↓		0,6	↓	
22	↓		0	50	
23	↓		0,3		
24	↓		0,6	↓	
25	Hioke 2		0	20	
26	↓		0,3		
27	↓		0,6	↓	
28	↓		0	50	
29	↓		0,3	↓	
30	↓		0,6	↓	
31	SC		0	20	
32	↓		0,3	↓	
33	↓		0,6	↓	
34	↓		0	50	
35	↓		0,3	↓	
36	↓	↓	0,6	↓	
37	Sellu 1	PAM+bent.	0	20	
38	↓		0,5		
39	↓		0,5+2		
40	Sellu 2		0		
41	↓		0,5		
42	↓		0,5+2		
43	Hienopap.		0		
44	↓		0,5		
45	↓	↓	0,5+2	↓	↓

## LIITE 1(2)

koepiste	massa	ret.aine	annostelu (kg/t)	lämpötila	laite
46	Hioke 1	PAM	0	20	SR
47	↓		0,3		
48	↓		0,6	↓	
49	↓		0	50	
50	↓		0,3	↓	
51	↓		0,6	↓	
52	Hioke 2		0	20	
53	↓		0,3	↓	
54	↓		0,6	↓	
55	↓		0	50	
56	↓		0,3	↓	
57	↓		0,6	↓	
58	SC		0	20	
59	↓		0,3	↓	
60	↓		0,6	↓	
61	↓		0	50	
62	↓		0,3	↓	
63	↓	↓	0,6	↓	
64	Sellu 1	PAM+bent.	0	20	
65	↓		0,5		
66	↓		0,5+2		
67	Sellu 2		0		
68	↓		0,5		
69	↓		0,5+2		
70	Hienopap.		0		
71	↓		0,5		
72	↓	↓	0,5+2	↓	↓
73	Hioke 1	PAM	0	20	Sentrifugointi
74	↓		0,3		
75	↓	↓	0,6		
76	Hioke 2	PAM	0		
77	↓		0,3		
78	↓	↓	0,6		
79	SC	PAM	0		
80	↓		0,3		
81	↓	↓	0,6		
82	Sellu 1	PAM+bent.	0		
83	↓		0,5		
84	↓	↓	0,5+2		
85	Sellu 2	PAM+bent.	0		
86	↓		0,5		
87	↓	↓	0,5+2		
88	Hienopap.	PAM+bent.	0		
89	↓		0,5		
90	↓	↓	0,5+2	↓	↓



**Käytetyt standardimenetelmät:**

SCAN-C 3:61	Kostean ja ilmakeiuan massan kuiva-aineen määrittäminen
SCAN-C 25:76	Laboratoriojauhatus - Valley-hollanteri
SCAN-C 18:65	Massalietteen kuiva-aine
SCAN-C 19:65	Massan suotautumisvastus Schopper-Riegler-menetelmän mukaan
SCAN-M 10:77	Mekaanisen massan kuumahajotus
SCAN-C 21:65	Massan suotautumiskyky Canadian-Freeness-menetelmän mukaan
SCAN-C 26:76	Laboratorioarkkien valmistus fysikaalisten ominaisuuksien määrittämiseksi
SCAN-P 2:75	Paperinäytteiden ilmastoiminen testausta varten
SCAN-P 6:75	Paperin neliömassa
SCAN-P 11:96	Paperin repäisylujuus
SCAN-P 16:76	Paperin vetolujuus ja venymä- Heilurilaite
SCAN-C 6:62	Massan tuhka

**Kemikaalien lisäyssekvenssi**

Pelkkä retentiopolymeeri:	
0s	sekoitus alkaa
10s	PAM:n annostelu
40s	sekoituksen lopetus/suodoksen keruu

Polymeerin ja bentoniitin mikropartikkelisysteemi:	
0s	sekoitus alkaa
10s	PAM:n annostelu
30s	bentoniitin annostelu
40s	sekoituksen lopetus/suodoksen keruu

**Viiraretention ja luottamusvälin laskenta:**

$$\text{viiraretentio} = \frac{\text{arkin kuivapaino (g)}}{\text{massan sakeus (g/l)} * \text{annostellun sulpun määrä (l)}}$$

$$\text{täyteaineretentio} = \frac{\text{arkin täyteainemäärä (g)}}{\text{sulpun täyteainepitoisuus (g/l)} * \text{annostellun sulpun määrä (l)}}$$

Luottamusväli antaa rajat, joiden sisällä estimoidun suureen todellinen arvo on tietyllä todennäköisyydellä (100-p)%. Vakio p on riskitaso.

Mittaustuloksille laskettiin 95% luottamusvälit seuraavan kaavan mukaan

$$\bar{x} \pm t_p * \frac{s}{\sqrt{n}}$$

missä  $\bar{x}$  = laskettu keskiarvo

s = otoskeskihajonta

$t_p$  saadaan t-jakauman taulukosta riskitason ja vapausasteiden mukaan

n = havaintojen lukumäärä



**MBDT-mittaus**

massa: **Hioke 1** lämpötila: 50 °C sakeus: 4,92 g/l  
 neliöm.: 56 g/m<sup>2</sup> alipaine: 25 kPa

koepiste		nm (g/m <sup>2</sup> )	kap (%)	keskihaj. kap	95% lv kap	kap/nm	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)
imuaika (ms)	kem.annos (kg/t)								
0	0	55,51	6,33	0,140	0,123	0,114	0,0018	0,0016	83,35
0	0,3	55,93	6,27	0,187	0,164	0,112	0,0027	0,0023	86,35
0	0,6	55,61	6,28	0,143	0,125	0,113	0,0040	0,0035	86,16
25	0	56,76	8,37	0,272	0,239	0,148	0,0095	0,0083	87,06
25	0,3	58,44	8,82	0,272	0,239	0,151	0,0074	0,0065	89,06
25	0,6	57,16	9,18	0,242	0,212	0,161	0,0048	0,0042	88,49
250	0	56,06	11,40	0,285	0,250	0,204	0,0100	0,0088	85,45
250	0,3	56,19	11,29	0,238	0,209	0,201	0,0064	0,0056	86,40
250	0,6	56,94	11,62	0,201	0,176	0,204	0,0039	0,0034	88,12

**MBDT-mittaus**

massa: **Hioke 2** lämpötila: 50°C sakeus: 5,10 g/l  
 neliöm.: 56 g/m<sup>2</sup> alipaine: 25 kPa

koepiste		nm (g/m <sup>2</sup> )	kap (%)	keskihaj. kap	95% lv kap	kap/nm	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)
imuaika (ms)	kem.annos (kg/t)								
0	0	55,94	6,55	0,138	0,121	0,117	0,0034	0,0030	85,86
0	0,3	56,16	6,31	0,249	0,218	0,112	0,0040	0,0035	87,33
0	0,6	56,33	6,36	0,262	0,230	0,113	0,0030	0,0026	88,07
25	0	55,10	8,66	0,294	0,257	0,156	0,0086	0,0069	85,74
25	0,3	56,33	9,10	0,207	0,181	0,162	0,0037	0,0032	86,48
25	0,6	56,77	8,92	0,117	0,102	0,157	0,0017	0,0015	88,27
250	0	54,85	11,50	0,272	0,239	0,210	0,0076	0,0067	83,90
250	0,3	56,78	11,37	0,176	0,154	0,200	0,0051	0,0045	88,66
250	0,6	56,67	11,41	0,102	0,089	0,201	0,0033	0,0029	88,71

**MBDT-mittaus**      massa: **Sellu 1**      lämpötila: 50°C      sakeus: 4,93 g/l  
neliöm.: 80 g/m2      alipaine: 25 kPa

koepiste		nm (g/m2)	kap (%)	keskihaj. kap	95% lv kap	kap/ neliöm.	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)
Imuaika (ms)	kem.annos (kg/t)								
0	0	80,89	9,22	0,136	0,119	0,114	0,0009	0,0008	93,01
0	0,5	80,25	8,93	0,269	0,216	0,110	0,0040	0,0035	93,93
0	0,5+2	79,35	9,07	0,207	0,182	0,109	0,0033	0,0029	90,94
25	0	81,03	15,41	0,237	0,208	0,193	0,0030	0,0026	94,16
25	0,5	79,76	14,20	0,291	0,255	0,176	0,0045	0,0039	93,44
25	0,5+2	80,73	14,64	0,223	0,218	0,178	0,0025	0,0022	91,23
250	0	80,11	17,71	0,299	0,262	0,227	0,0054	0,0047	93,49
250	0,5	79,24	16,32	0,280	0,224	0,198	0,0080	0,0070	92,69
250	0,5+2	79,12	16,53	0,226	0,198	0,203	0,0045	0,0039	90,02

**MBDT-mittaus**      massa: **Sellu 2**      lämpötila: 50°C      sakeus: 5,09 g/l  
neliöm.: 80 g/m2      alipaine: 25 kPa

koepiste		nm (g/m2)	kap (%)	keskihaj. kap	95% lv kap	kap/ neliöm.	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)
Imuaika (ms)	kem.annos (kg/t)								
0	0	79,03	8,68	0,172	0,151	0,107	0,005	0,0043	93,96
0	0,5	79,16	8,65	0,162	0,142	0,107	0,002	0,0018	93,52
0	0,5+2	78,70	8,56	0,180	0,158	0,103	0,005	0,0041	91,23
25	0	76,41	12,77	0,210	0,184	0,159	0,006	0,0051	86,98
25	0,5	77,92	12,62	0,402	0,320	0,170	0,007	0,0055	90,16
25	0,5+2	76,95	12,80	0,203	0,178	0,166	0,005	0,0041	88,21
250	0	79,43	16,46	0,253	0,222	0,205	0,004	0,0033	91,65
250	0,5	79,68	15,57	0,299	0,262	0,196	0,005	0,0047	94,02
250	0,5+2	78,42	15,46	0,198	0,174	0,198	0,005	0,0048	90,89



LIITE 5 (3)

**MBDT-mittaus** massa: **SC** lämpötila: 50°C sakeus: 5,02 g/l  
neliöm.: 56 g/m2 alipaine: 25 kPa

Koepiste		neliöm. (g/m2)	kap (%)	keskihaj. kap	95% lv kap	kap/nm	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)	täyteaine retentio (%)
imuaika (ms)	kem. annos (kg/t)									
0	0	55,91	7,29	0,109	0,095	0,130	0,0017	0,0015	64,86	19,30
0	0,3	57,15	7,84	0,068	0,060	0,137	0,0034	0,0029	73,72	43,83
0	0,6	56,11	7,94	0,146	0,128	0,142	0,0022	0,0019	77,57	54,97
25	0	55,30	9,63	0,294	0,258	0,174	0,0060	0,0053	62,46	16,68
25	0,3	56,24	10,64	0,217	0,190	0,189	0,0057	0,0050	72,25	42,18
25	0,6	55,89	10,72	0,266	0,233	0,192	0,0060	0,0053	76,47	43,82
250	0	54,51	13,04	0,244	0,214	0,239	0,0065	0,0057	62,06	15,75
250	0,3	55,81	14,29	0,188	0,165	0,256	0,0031	0,0027	71,90	41,67
250	0,6	55,42	14,36	0,152	0,133	0,259	0,0032	0,0028	75,36	45,07

**MBDT-mittaus** massa: **Hienopaperi** lämpötila: 50°C sakeus: 4,84 g/l  
neliöm.: 80 g/m2 alipaine: 25 kPa

koepiste		neliöm. (g/m2)	kap (%)	keskihaj. kap	95%lv kap	kap/nm	keskihaj. kap/nm	95% lv kap/nm	retentio (%)	täyteaine retentio (%)
imuaika (ms)	kem. annos (kg/t)									
0	0	79,50	8,86	0,227	0,199	0,112	0,0042	0,0036	69,85	3,26
0	0,5	79,78	10,38	0,117	0,102	0,130	0,0016	0,0014	86,85	48,84
0	0,5+2	82,00	10,89	0,188	0,164	0,133	0,0032	0,0028	88,92	53,21
25	0	77,48	12,63	0,272	0,238	0,163	0,0109	0,0096	68,98	3,35
25	0,5	79,83	17,03	0,417	0,366	0,213	0,0028	0,0025	88,45	51,28
25	0,5+2	80,58	17,22	0,097	0,085	0,214	0,0035	0,0031	89,03	55,41
250	0	80,28	17,35	0,301	0,295	0,216	0,0044	0,0043	70,32	3,12
250	0,5	79,08	18,51	0,312	0,273	0,234	0,0072	0,0063	86,71	48,22
250	0,5+2	80,51	19,59	0,171	0,150	0,243	0,0069	0,0061	88,82	51,22



## DDA:n tulokset

Massa/kemikaali	Annosteltu massa				suot.	kap	nm	kap/	aika/	sameus	täytea.
	annos (kg/t)	T (C)	(g/l)	V (ml)	aika (s)	(%)	(g/m2)	nm	nm	(NTU)	ret (%)
HP	0	20	4	500	2,20	17,42	208,8	0,0834	0,0105	650	17,1
▼	0,5	20			2,91	24,34	302,2	0,0805	0,0096	108	92,6
▼	0,5+2	20			2,69	22,96	304,5	0,0754	0,0088	97	96,1
S1	0	20			2,97	18,04	287,5	0,0627	0,0103		
▼	0,5	20			2,26	17,06	288,7	0,0591	0,0078		
▼	0,5+2	20			1,9*	15,31	276,5	0,0554	0,0069		
S2	0	20			5,71	18,81	281,2	0,0669	0,0203		
▼	0,5	20			3,84	16,54	275,4	0,0601	0,0139		
▼	0,5+2	20			2,69	15,71	265,9	0,0591	0,0101		
SC	0	20			35,52	14,22	258,9	0,0549	0,1372	120	
▼	0,3	20			27,40	14,04	263,5	0,0533	0,1040	87	70,3
▼	0,6	20			24,06	14,18	274,0	0,0517	0,0878	69	80,5
▼	0	51			25,43	14,25	257,4	0,0554	0,0988	125	69,9
▼	0,3	51			20,81	15,91	262,7	0,0606	0,0792	95	76,8
▼	0,6	51			18,24		266,6		0,0684	64	82,8
H1	0	20			37,27	11,52	279,6	0,0412	0,1333	67	
▼	0,3	20			35,81	12,99	282,3	0,0460	0,1268	57	
▼	0,6	20			34,06	12,67	284,2	0,0446	0,1199	54	
▼	0	50			21,59	13,49	272,2	0,0496	0,0793	56	
▼	0,3	50			21,03	13,27	280,8	0,0473	0,0749	57	
▼	0,6	50			20,10	13,11	284,9	0,0460	0,0706	47	
H2	0	20			36,25	11,85	290,9	0,0407	0,1246	50	
▼	0,3	20			32,63	10,88	282,5	0,0385	0,1155	40	
▼	0,6	20			31,64	11,98	289,0	0,0415	0,1095	35	
▼	0	50			28,73	13,49	289,3	0,0466	0,0993	42	
▼	0,3	50			23,18	13,51	272,6	0,0496	0,0850	35	
▼	0,6	50	▼	▼	21,47		284,8		0,0754	36	
H1	0	20	2,5	500	18,18	10,46	165,3	0,0633	0,1100	50	
▼	0,3	20			17,24	10,14	167,4	0,0606	0,1030	48	
▼	0,6	20			17,63	10,49	171,7	0,0611	0,1027	47	
▼	0	50			12,85	11,49	161,7	0,0710	0,0795	46	
▼	0,3	50			11,81	11,61	167,7	0,0692	0,0704	51	
▼	0,6	50			11,65	11,59	170,1	0,0681	0,0685	48	
H2	0	21			22,80	10,48	172,9	0,0606	0,1319	51	
▼	0,3	21			19,83	10,70	179,7	0,0596	0,1104	35	
▼	0,6	21			17,30	10,95	176,1	0,0622	0,0982	29	
▼	0	50			15,16	10,87	174,9	0,0622	0,0867	48	
▼	0,3	50			13,46	11,19	172,1	0,0650	0,0782	38	
▼	0,6	50			12,58	12,24	174,4	0,0702	0,0721	29	
SC	0	20			17,91	12,52	153,7	0,0815	0,1165	112	63,8
▼	0,3	20			14,12	13,07	160,4	0,0815	0,0880	81	72,6
▼	0,6	21			12,41	13,88	162,6	0,0854	0,0763	60	76,0
▼	0	51			11,15		144,2		0,0773	120	59,5
▼	0,3	50			9,39	15,14	153,8	0,0984	0,0611	83	70,3
▼	0,6	50	▼	▼	9,01		159,3		0,0566	58	73,4

\*) Arvio, aika oli liian pieni DDA:n mitattavaksi

**Sentrifugoinnin tulokset**

Massa	kemik. annos (kg/t)	kap 1000rpm	kap 2000rpm	neliö- massa	kap/nm 1000 rpm	kap/nm 2000 rpm
<b>H1</b>	0	14,06	21,47	507,10	0,0277	0,0423
	0,3	14,55	22,31	511,07	0,0285	0,0436
	0,6	13,19	20,98	501,38	0,0263	0,0418
<b>H2</b>	0	11,72	19,02	444,10	0,0264	0,0428
	0,3	11,48	19,67	452,69	0,0254	0,0434
	0,6	11,83	19,35	455,78	0,0665	0,0260
<b>SC</b>	0	15,44	23,07	477,81	0,0634	0,0323
	0,3	15,83	23,50	458,07	0,0349	0,0519
	0,6	16,37	24,90	458,09	0,0664	0,0544
<b>S1</b>	0	15,92	26,21	473,40	0,0642	0,0554
	0,5	16,43	28,55	445,04	0,0365	0,0631
	0,5+2	16,71	28,71	493,23	0,0612	0,0582
<b>S2</b>	0	14,71	23,59	439,04	0,0690	0,0537
	0,5	16,35	25,46	447,52	0,0688	0,0569
	0,5+2	15,91	25,86	487,06	0,0636	0,0531
<b>HP</b>	0	17,55	28,06	423,39	0,0720	0,0663
	0,5	22,72	34,17	503,85	0,0467	0,0679
	0,5+2	21,61	32,56	523,63	0,0577	0,0622



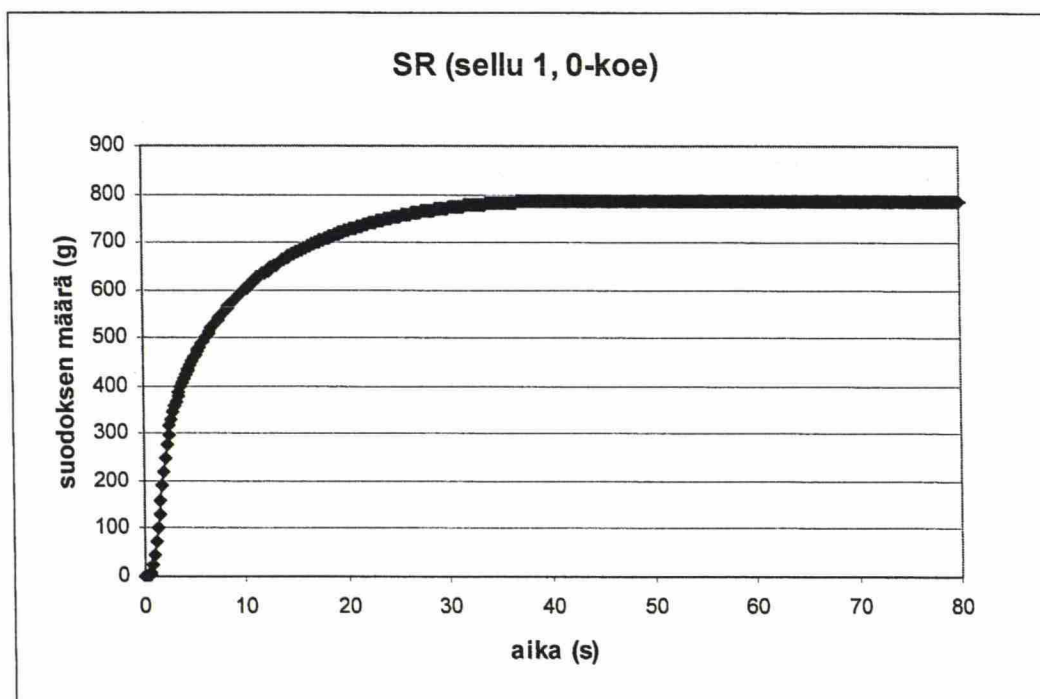
## SR-kokeen tulokset

Massa	kem. annos (kg/t)	T (C)	poistunut kokonais- vesi (g)	nm (g/m <sup>2</sup> )	kok. vesi/ nm	Tiettyssä ajassa pois- tunut vesimäärä (g)			5-15 s poistunut vesi (g)	vesim. 5-15s /nm	sa- meus (NTU)	täytea. ret. (%)
						5s	15s	30s				
<b>H1</b>	0	20	264,9	196,4	1,35	139,5	198,2	236,5	58,7	0,299	56	
	0,3		282,4	197,4	1,43	140,5	203,3	245,9	62,8	0,318	51	
	0,6		298,4	194,6	1,53	146,6	211,4	255,3	64,8	0,333	43	
	0	50	336,6	197,9	1,70	161,6	236,3	287,4	74,7	0,378	48	
	0,3		364,2	194,7	1,87	168,0	249,0	306,8	81,0	0,416	42	
	0,6		370,8	196,7	1,89	170,0	251,1	308,5	81,1	0,412	40	
<b>H2</b>	0	20	212,3	202,2	1,05	124,9	173,3	200,8	48,4	0,239		
	0,3		224,2	201,3	1,11	130,5	185,5	220,1	55,0	0,273	62	
	0,6		282,5	202,8	1,39	136,4	203,5	247,1	67,1	0,331	52	
	0	50	226,1	202,7	1,12	134,7	185,4	213,4	50,7	0,250	84	
	0,3		293,0	200,3	1,46	148,2	214,1	257,9	65,9	0,329	66	
	0,6		390,4	164,6	2,37	179,6	267,7	328,0	88,1	0,535	46	
<b>SC</b>	0	20	305,9	182,9	1,67	178,9	243,0	281,5	64,1	0,350	175	69,0
	0,3		371,5	190,8	1,95	181,3	262,9	318,9	81,7	0,428	93	78,8
	0,6		438,4	192,6	2,28	191,9	290,0	360,3	98,1	0,509	70	85,2
	0	50	356,7	184,2	1,94	214,0	288,2	330,0	74,2	0,403	135	68,7
	0,3		422,2	192,0	2,20	208,0	299,5	362,1	91,5	0,477	92	79,8
	0,6		495,9	192,3	2,58	222,1	335,8	415,0	113,7	0,591	70	84,3
<b>S1</b>	0	20	785,9	204,2	3,85	458,9	677,8	771,7	218,9	1,072		
	0,5		839,5	205,6	4,08	550,8	811,0	839,5	260,2	1,266		
	0,5+2		849,5	215,3	3,95	599,6	846,3	849,5	246,7	1,146		
<b>S2</b>	0		688,9	205,8	3,35	365,8	539,5	641,7	173,7	0,844		
	0,5		834,4	196,4	4,25	535,8	803,8	834,4	268,0	1,365		
	0,5+2		840,1	204,3	4,11	549,7	818,8	840,1	269,1	1,317		
<b>HP</b>	0		836,6	147,4	5,68	528,5	763,7	835,8	235,2	1,595	360	13,3
	0,5		863,7	217,5	3,97	539,2	814,5	863,6	275,3	1,266	25	101,9*
	0,5+2		855,3	221,3	3,86	527,6	804,9	855,1	277,3	1,253	26	107,1*

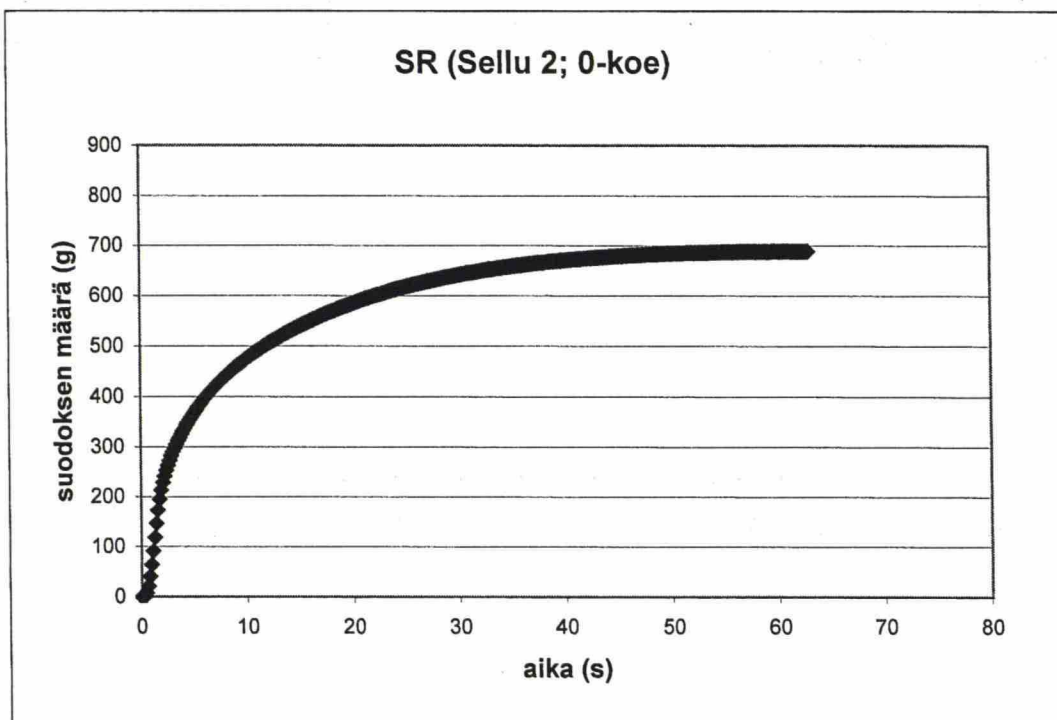
\*) Sakeuden epätarkkuus aiheuttaa virheen retention laskennassa.



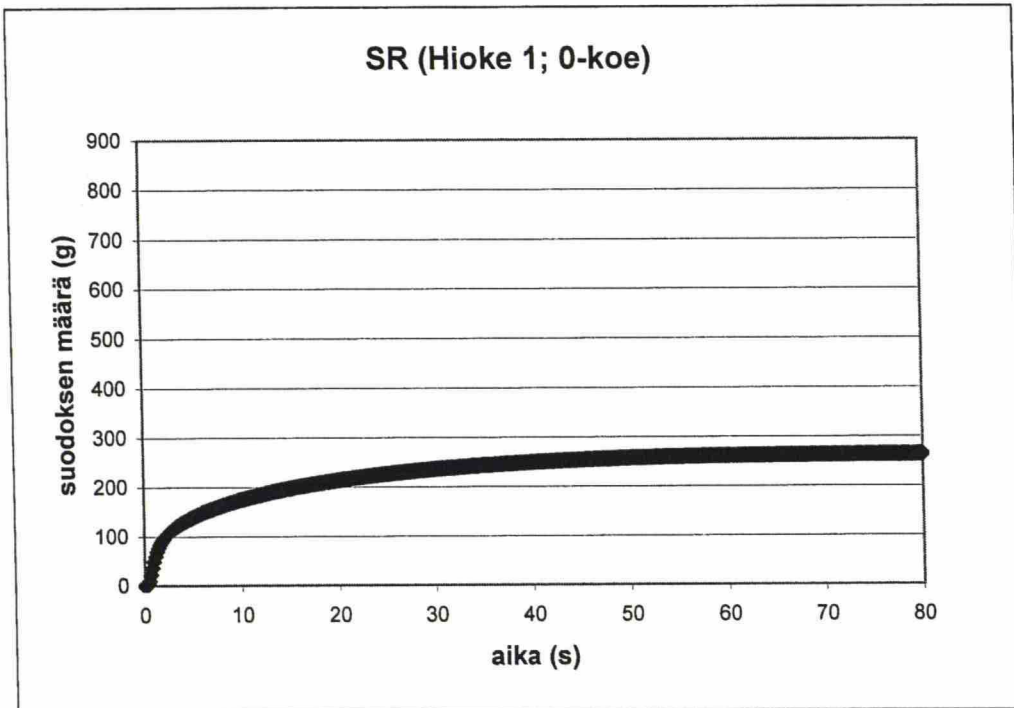
Esimerkit SR-kokeessa saaduista kuvaajista eri massoilla



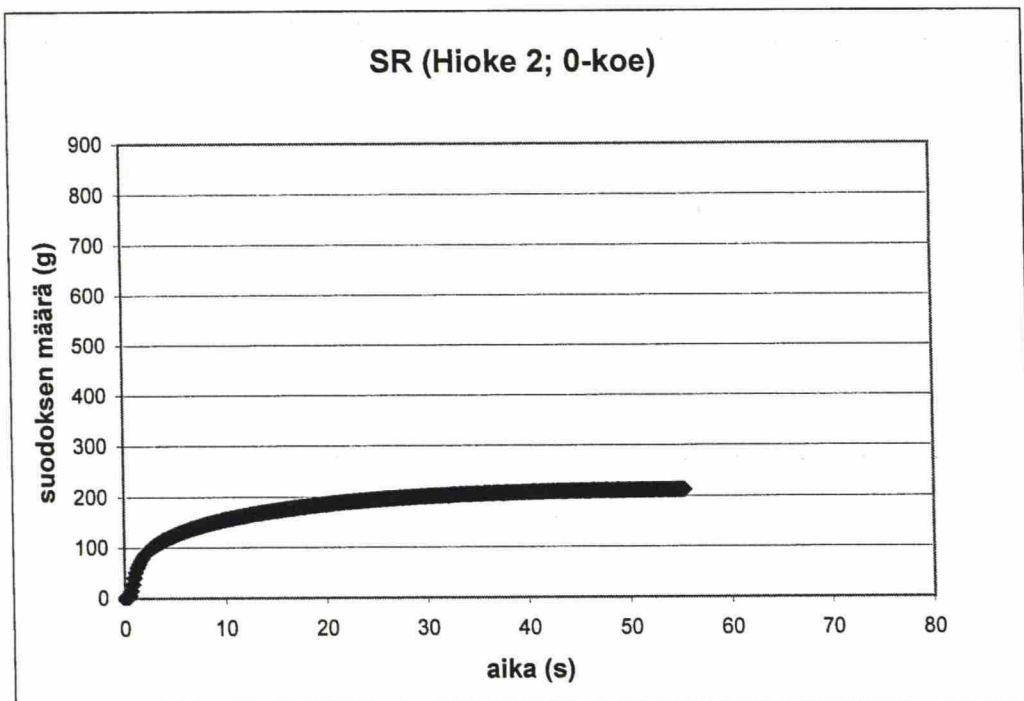
Kuva 1. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona sellu 1:llä.



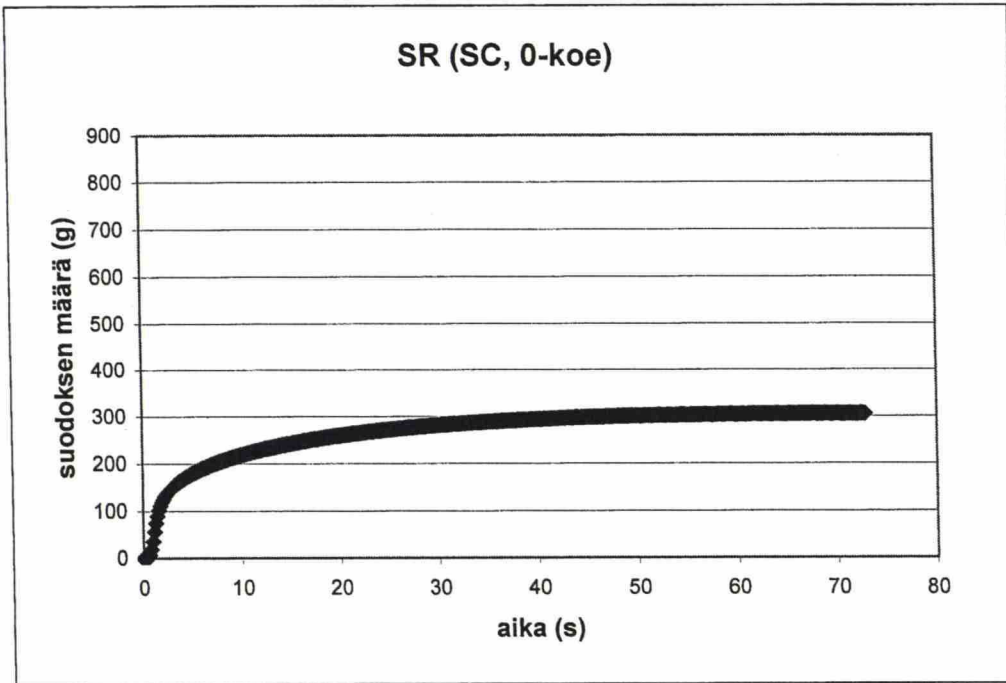
Kuva 2. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona sellu 2:lla.



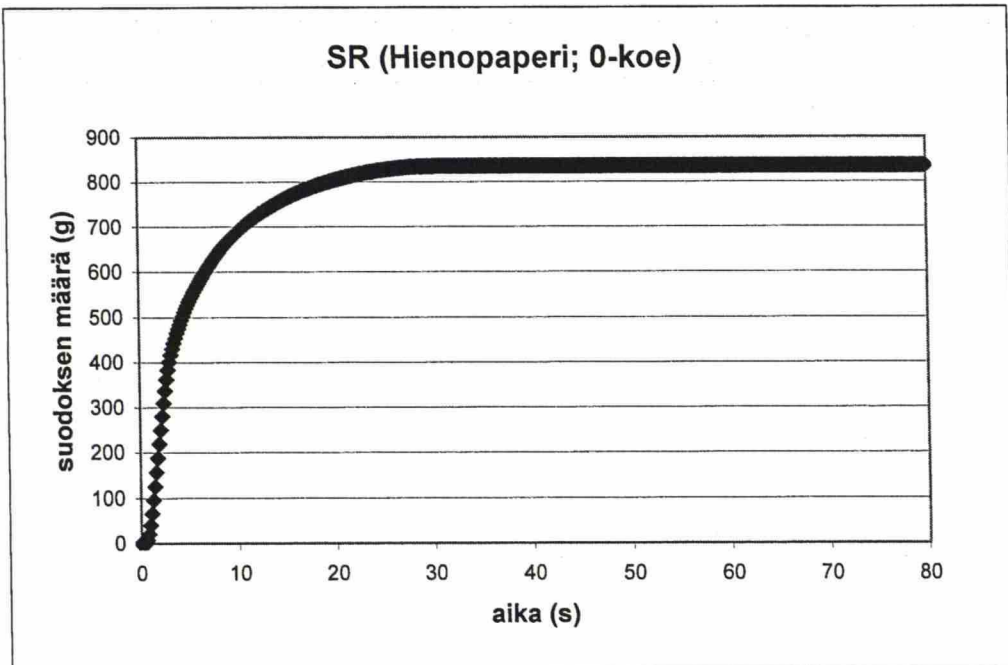
*Kuva 3. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona hioke 1:llä.*



*Kuva 4. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona hioke 1:llä.*



Kuva 5. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona SC-massalla.



Kuva 6. SR-kokeessa poistunut vesimäärä ajan funktiona hienopaperilla.



**Luottamusvälit eri menetelmissä**

mittaukset tehty SC-massalla 0,3 kg/t kemikaaliannoksella

DDA	aika (s)	aika/nm	kap (%)			
	14,72	0,0908				
	14,5	0,0906	13,05			
	13,95	0,0866	13,04			
	13,96	0,0870	12,82			
	13,45	0,0849	13,06			
keskiarvo	14,116	0,0880	13,00			
keskihajonta	0,502	0,0026	0,1163			
95% lv	0,440	0,0023	0,1140			
% ka:sta	3,1 %	2,6 %	3,40 %			
SR	t60%	t60%/nm	Vkok	15 s	5-15s	5-15s/nm
	9,24	0,0483	369,1	259,8	82,1	0,4293
	8,92	0,0465	372,2	263,8	81,1	0,4232
	8,86	0,0465	376,7	267,7	82,9	0,4349
	9,18	0,0481	371,4	260,9	81,1	0,4253
	8,76	0,0461	368	262,5	81,1	0,4272
keskiarvo	8,99	0,0471	371,5	262,9	81,7	0,4280
keskihajonta	0,21	0,0010	3,4	3,1	0,82	0,0045
95% lv	0,18	0,0009	3,0	2,7	0,72	0,0039
% ka:sta	2,0 %	1,9 %	0,8 %	1,0 %	0,9 %	0,9 %
Sentrifugointi	kap 1000rpm	kap 2000rpm	kap/nm 1000 rpm	kap/nm 2000 rpm		
	16,01	23,55	0,0330	0,0486		
	15,42	23,31	0,0345	0,0522		
	16,25	23,59	0,0357	0,0519		
	15,74	23,75	0,0352	0,0531		
	15,70	23,29	0,0344	0,0510		
keskiarvo	15,83	23,50	0,0346	0,0513		
keskihajonta	0,3167	0,1976	0,0010	0,0017		
95% lv	0,2776	0,1732	0,0009	0,0015		
% ka:sta	1,8 %	0,7 %	2,6 %	2,9 %		

**Hiokkeiden lujuudet**

Hiokkeista valmistettujen arkkien lujuudet	neliömassa (g/m <sup>2</sup> )	repäisylujuus (mN)	repäisyindeksi (Nm <sup>2</sup> /kg)	vetolujuus (kN/m)
<b>Hioke 1</b>	60.7	205.0	3.38	2.506
<b>Hioke 2</b>	63.0	166.0	2.64	2.416

**Massan hienoainepitoisuus**

Näyte	Hienoaineen määrä (%)
<b>Sellu 1</b>	3,1
SR 23	
<b>Sellu 2</b>	6,8
SR 32	
<b>Hioke 1</b>	18,0*
CSF 65	
<b>Hioke 2</b>	18,4*
CSF 54	
<b>Hienopaperi</b>	37,4
<b>SC</b>	51,3

\*) suuri hajonta rinnakkaismääritysten välillä



PKP-01

~~THOMLINEN KOSKITALO~~